

JOSINEI ANTONIO TISSI

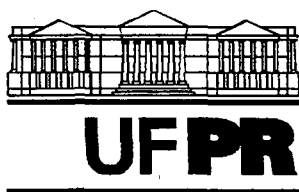
**CRESCIMENTO RADICULAR E NUTRIÇÃO DE MILHO
(*Zea mays L.*) CULTIVADO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO
EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE
CALCÁRIO EM LATOSSOLO ARGILOSO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de mestre em Agronomia, Área de Concentração Ciência do Solo, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Fávero Caires

CURITIBA

2001



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA: CIÊNCIA DO SOLO(MESTRADO) e
MONITORAMENTO, MODELAGEM E GESTÃO AMBIENTAL(DOUTORADO)
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax 41-350-5648
E-mail: pgcisol@agrarias.ufpr.br

P A R E C E R

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **JOSINEI ANTONIO TISSI**, com o título: **"Crescimento radicular e nutrição de milho (*Zea mays* L.) cultivado em sistema plantio direto em função da aplicação superficial de calcário em latossolo argiloso"**, para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de Parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Dissertação, com o conceito **"A"**, completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 20 de novembro de 2001.

Prof. Dr. Eduardo Fávero Caires, Presidente.

Engº Agrônomo Dr. Antonio Costa, Iº Examinador.

Prof. Dr. Luiz Antonio Corrêa Lucchesi, IIº Examinador.



AGRADECIMENTOS

Ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração Ciência do Solo, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, pelo acolhimento, por possibilitar a realização deste trabalho e pela compreensão dispendida na conclusão deste trabalho.

Ao professor Doutor Eduardo Fávero Caires, meu orientador pela disponibilidade, pelos sábios conselhos e valiosa colaboração. Meu agradecimento muito especial, não só pela oportunidade de aperfeiçoamento profissional mediante orientação segura e eficiente deste trabalho, mas também em virtude da compreensão, apoio incentivo e amizade, demonstrados em todos os momentos de convívio.

Aos Professores Doutores Antonio Costa e Luis A. C. Lucchesi, da banca examinadora, pelas correções e sugestões.

Aos pesquisadores Volnei Pauletti e Luis C. Tessaro, da Fundação ABC, pela amizade e ajuda em todas as etapas da realização dos trabalhos de campo.

À Fundação ABC e todos os seus funcionários e estagiários, pela ajuda e dedicação na execução dos trabalhos de campo.

Aos laboratoristas Elda N. L. Lubansinski, Ana Kudla, Ruy B. da Silva, Maria A. C. dos Santos, Aldair M. Munhoz, Flori Roberto M. Barberi, do Departamento de Solos, pelo apoio e colaboração em todas as análises, sem o qual não seria possível a realização deste trabalho.

Às funcionárias da Biblioteca do Setor de Ciências Agrárias, Maria Simone U. S. Amadeu, Doroti M. L. Andrade, Evelyn da Silva, Vera L. Dittert, Rosi Cordeiro, Maria Helena L. Cordeiro e Agrinaldo R. de Lima, pela atenção dispensada.

Ao Gerson Novicki, Secretario da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo, pelas orientações burocráticas.

Agradeço aos meus pais, “Seu Toninho” e “Dona da Lurdes”, pelo exemplo dignificante, amor e incentivo à minha formação moral e profissional, demonstrados ao longo de suas vidas. Tudo o que disser será pouco; a eles devo tudo.

À Juliana, minha noiva, amiga, companheira e grande mulher pelo apoio, pelo carinho, pelo amor com que sempre esteve presente e que soube compreender minhas ausências.

Aos meus irmãos Josimar e Josilei, cunhadas Célia e Melissa, avó Luíza, tia Sueli e cunhado Rafael pelo apoio e confiança em mim depositada.

Ao amigo Zires J. Bueno, pela valiosa ajuda nas análises estatísticas e ao Roberto Martins, pela valiosa ajuda na confecção dos gráficos.

Aos companheiros da “Casinha de Pós-Graduação” em especial ao Paulino T. Sakae, Fábio Sagara, Andréia C. Ferreira, Charles Carneiro, Andréia Bitencourtt, Cristina Barcik, Sandra R. Cavichiolo, Carla G. N. Nogueira, Cintya M. Wachowycz, Regiane C. M. Sita, Jetro T. Salvador, Roberto Martins, que proporcionaram momentos de estudo, descontração e convivência.

Afinal, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para execução deste trabalho.

....Ao Grande Espírito do Norte....

....invisível espírito do ar....

....Ao Grande Espírito do Sul....

....protetor da terra frutífera....

....Ao Grande Espírito do Leste....

....espírito do sol nascente....

....Ao Grande Espírito do Oeste....

....espírito das grandes águas....

....que possas fluir e expressar através de nós

para o bem deste planeta e

de todos que o habitam....

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 O SISTEMA PLANTIO DIRETO.....	3
2.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO	5
2.3 ACIDEZ E CALAGEM EM SISTEMA PLANTIO DIRETO	8
2.4 SISTEMA RADICULAR	14
3 MATERIAL E MÉTODOS	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
4.1 EFEITO DA CALAGEM NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO	29
4.2 EFEITO DA CALAGEM NO CRESCIMENTO RADICULAR DO MILHO.....	33
4.3 EFEITO DA CALAGEM NA NUTRIÇÃO MINERAL DO MILHO	38
4.4 EFEITO DA CALAGEM NA PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E NA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE MILHO	42
5 CONCLUSÕES	44
REFERÊNCIAS	45
ANEXOS.....	58

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 – HISTÓRICO DA ROTAÇÃO DE CULTURAS DA ÁREA EXPERIMENTAL DA FAZENDA FORTALEZA, TIBAGI – PR.....	23
TABELA 02 – RESULTADOS DE ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO EM DIFERENTES PROFUNDIDADES, ANTES DA IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO	24
TABELA 03 – ALTERAÇÕES QUÍMICAS DO SOLO EM DIFERENTES PROFUNDIDADES, EM FUNÇÃO DE DOSES DE CALCÁRIO NA SUPERFÍCIE EM SISTEMA PLANTIO DIRETO, 22 MESES APÓS A APLICAÇÃO	29
TABELA 04 – TEORES DE MICRONUTRIENTES CATIÔNICOS NO SOLO, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES, EM FUNÇÃO DE DOSES DE CALCÁRIO NA SUPERFÍCIE EM SISTEMA PLANTIO DIRETO, 22 MESES APÓS A APLICAÇÃO	32
TABELA 05 – EFEITO DA CALAGEM SUPERFICIAL NO COMPRIMENTO RADICULAR DO MILHO POR ÁREA, ATÉ 40 CM DE PROFUNDIDADE, NA LINHA DE SEMEADURA E NAS ENTRELINHAS, EM SISTEMA PLANTIO DIRETO	35
TABELA 06 – DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DO COMPRIMENTO DE RAÍZES DE MILHO NA LINHA DE SEMEADURA E NAS ENTRELINHAS, EM FUNÇÃO DE DOSES DE CALCÁRIO NA SUPERFÍCIE, EM SISTEMA PLANTIO DIRETO	36
TABELA 07 – COMPARAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DO COMPRIMENTO DE RAÍZES DE MILHO, NA LINHA E NAS ENTRELINHAS EM FUNÇÃO DE DOSES DE CALCÁRIO NA SUPERFÍCIE, EM SISTEMA PLANTIO DIRETO	37

TABELA 08 – CONCENTRAÇÃO DE MACRONUTRIENTES NAS FOLHAS DE MILHO, EM FUNÇÃO DE DOSES DE CALCÁRIO NA SUPERFÍCIE, EM SISTEMA PLANTIO DIRETO	38
TABELA 09 – CONCENTRAÇÃO DE MICRONUTRIENTES CATIÔNICOS NAS FOLHAS DE MILHO, EM FUNÇÃO DE APLICAÇÃO DE CALCÁRIO EM SUPERFÍCIE, EM SISTEMA PLANTIO DIRETO	39
TABELA 10 – PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E DE GRÃOS DE MILHO, EM FUNÇÃO DE DOSES DE CALCÁRIO NA SUPERFÍCIE, EM SISTEMA PLANTIO DIRETO	43

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – TEMPERATURA MÉDIA MENSAL (°C) E SOMA MENSAL DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL DIÁRIA ACUMULADA (mm). TIBAGI-PR, 1999/2000.....	27
FIGURA 02 – DENSIDADE, SUPERFÍCIE E RAIOS MÉDIOS DE RAÍZES DE MILHO, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES, NA LINHA DE SEMEADURA, EM FUNÇÃO DE DOSES DE CALCÁRIO NA SUPERFÍCIE, EM SISTEMA PLANTIO DIRETO. * Significativo a 5%, ** Significativo a 1%.	33
FIGURA 03 – DENSIDADE, SUPERFÍCIE E RAIOS MÉDIOS DE RAÍZES DE MILHO, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES, NAS ENTRELINHAS DE SEMEADURA, EM FUNÇÃO DE DOSES DE CALCÁRIO NA SUPERFÍCIE, EM SISTEMA PLANTIO DIRETO. * Significativo a 5%, ** Significativo a 1%.	34
FIGURA 04 – EXTRAÇÃO DE MACRONUTRIENTES PELA PARTE AÉREA DO MILHO, EM FUNÇÃO DA CALAGEM NA SUPERFÍCIE, EM SISTEMA PLANTIO DIRETO. * Significativo 5%.....	41
FIGURA 05 – EXTRAÇÃO DE MICRONUTRIENTES PELA PARTE AÉREA DO MILHO, EM FUNÇÃO DA CALAGEM NA SUPERFÍCIE EM SISTEMA PLANTIO DIRETO.....	42

RESUMO

Considerando a interdependência existente entre o crescimento da parte aérea e das raízes para a produção das culturas, há necessidade de se aprofundar e ampliar os conhecimentos a respeito dos efeitos da calagem superficial no sistema plantio direto. O objetivo desse trabalho foi avaliar o crescimento radicular, a nutrição mineral e a produção de grãos de milho (*Zea mays* L.), em função da aplicação de doses de calcário na superfície em sistema plantio direto. O experimento foi realizado em um Latossolo Vermelho distrófico textura muito argilosa, manejado há seis anos no sistema plantio direto, em Tibagi (PR). Os tratamentos, aplicados em parcelas de 44,8 m², foram dispostos em blocos completos ao acaso com quatro repetições e constaram da aplicação de quatro doses de calcário dolomítico na superfície: 0, 1, 2 e 3 t ha⁻¹ (PRNT = 100%), calculadas de acordo com o método da elevação de saturação por bases do solo a 70% (0, 1/3v_{70%}, 2/3v_{70%} e v_{70%}). O calcário foi aplicado em maio de 1998, a lanço, na superfície do solo. Após 22 meses da aplicação de calcário na superfície, o pH, os teores de Ca e Mg e a saturação por bases aumentaram, enquanto que os teores de H+Al e de Al trocável no solo foram reduzidos na camada de 0-10 cm. Não foi observado efeito de calagem nos atributos químicos do solo na camada de 10-20 cm, mas houve redução do Al trocável e aumento do Ca trocável, na camada de solo de 20-40 cm, com a aplicação de doses de calcário. A aplicação superficial de calcário não alterou os teores de micronutrientes catiônicos em nenhuma das profundidades avaliadas. A calagem superficial proporcionou diminuição no raio médio das raízes, tanto na linha de semeadura (0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm), como nas entrelinhas (0-10 cm). Quanto à densidade de raízes, somente na profundidade de 10-20cm e nas entrelinhas, houve efeito positivo da calagem. Considerando o crescimento radicular do milho até a profundidade de 40 cm, independentemente da calagem, cerca de 60% das raízes medidas pelo comprimento, foram encontradas na camada superficial do solo (0-10 cm), e 40% nas camadas mais profundas (10-40 cm). A maior concentração de raízes ocorreu na linha de semeadura em comparação com as entrelinhas, sendo, respectivamente, na ordem de 67% e 33% na camada de 0-10 cm, e de 60% e 40% para a camada de 10-40 cm. A aplicação de doses de calcário na superfície aumentou os teores de Mg e S das folhas e a extração de P, Ca, Mg e S pela parte aérea do milho. Os teores foliares e a absorção de micro nutrientes catiônicos (Cu, Fe, Mn, Zn) não foram influenciados pelas doses de calcário aplicados. A produção de matéria seca e de grãos de milho não foram alteradas pela calagem em solo ácido, com alto teor de matéria orgânica e teores adequados de Ca, Mg, K e P.

ABSTRACT

Considering the interdependence between root and leaf growth in relation to crop yield, the effects of surface liming in no tillage systems need to be better understood. This study aimed at evaluating root growth, mineral nutrition and grain yield of corn (*Zea mays L.*) as a function of different surface application rates of limestone under no tillage. The soil was a very clayey, dystrophic Red Latosol under no tillage for six years in the Tibagi municipality, state of Paraná, Brazil. Plot size was 44,8 m² and treatments were laid out on a randomized block design with four replicates. Treatments were four rates of surface applied dolomitic limestone: 0, 1, 2 and 3 Mg ha⁻¹ (100% neutralization power). These rates were calculated in relation to a 70% base saturation ($V_{70\%}$) as 0, $1/3V_{70\%}$, $2/3V_{70\%}$ and $V_{70\%}$. Limestone was spread in May 1998. Twenty two months after lime application, soil pH, levels of Ca and Mg, and base saturation were higher whereas H + Al and exchangeable Al levels were lower in the 0-10cm depth. No significant effect was observed for the soil chemical attributes in the 10-20 cm layer. There was an increase in Ca and a decrease in exchangeable Al in the 20-40 cm layer. A broadcast of limestone did not affect the levels of cationic micronutrients in none of the depths evaluated. Liming reduced average root radius in the rows (0-10 cm, 10-20cm and 20-40 cm) and between rows (0-10 cm). Root density was positively affected only for the 10-20 cm layer between rows. Independent of liming, corn root growth to 40 cm was distributed 60% in length in the 0-10 cm layer and 40% in the 10-40 cm layer. The greatest concentration of roots happened in the rows comparing to the between rows, being, respectively, in the order of 67% and 33% in the 0-10 cm layer, and of 60% and 40% in the 10-40cm layer. Liming increased leaf Mg and S levels, as well as the extraction of P, Ca, Mg and S by the above ground parts. Leaf and absorption levels of cationic micronutrients (Cu, Fe, Mn and Zn) were not influenced by liming rate. Above ground dry mass and corn grain yield were not affected by liming in this acidic soil but with a high organic matter content and sufficient levels of Ca, Mg, K and P.

1 INTRODUÇÃO

O plantio direto é um sistema de manejo sem preparo do solo, onde os resíduos vegetais são deixados sobre a superfície, sendo feito apenas um sulco para a semeadura. Esse sistema teve início por volta dos anos cinquenta nos EUA, após a última grande guerra mundial, através do desenvolvimento de produtos químicos, principalmente aqueles utilizados no controle de plantas daninhas e também com o desenvolvimento das primeiras semeadoras adaptadas para tal sistema de cultivo. No Brasil, o sistema plantio direto apresentou uma rápida expansão em sua área de adoção nesta última década, incentivado principalmente pelo estigma de reduzir a erosão do solo e os custos de produção agrícola. Existem estimativas de que a área cultivada com esse sistema no Brasil já ultrapassa 13 milhões de hectares, atingindo mais de 25% da área utilizada para a produção de grãos (FEBRAPDP, 2000). No estado do Paraná, a grande evolução ocorreu a partir da década de 1970, através de um trabalho conjunto de agricultores, pesquisadores e extensionistas, visando, principalmente, o controle da erosão. Atualmente no Paraná, o sistema plantio direto ocupa cerca de 2.500.000 ha (FRANCHINI et al., 2000).

Após a introdução do sistema plantio direto no Brasil, várias dúvidas e questionamentos têm sido levantados quanto ao manejo da fertilidade do solo e ao comportamento radicular das culturas, pois esse sistema causa uma série de modificações nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, em relação ao sistema convencional de preparo.

Independente do sistema de manejo, os solos acidificam-se naturalmente necessitando da calagem para a correção da acidez. Entretanto, pelas características do sistema e conhecendo-se a baixa solubilidade do calcário no solo, existem dúvidas quanto aos procedimentos mais adequados a serem adotados para a correção de acidez do solo em plantio direto.

A maioria das recomendações de calagem em uso foram elaboradas com base em técnicas convencionais de preparo de solo, envolvendo uma completa mobilização da camada arável para um melhor contato do corretivo com o solo. Apenas em trabalhos mais recentes têm sido apresentados critérios específicos de recomendação de calagem na superfície em sistema plantio direto (PÖTTKER; BEN, 1998; CAIRES et al., 2000).

Sabe-se que existe interdependência entre o crescimento da parte aérea e das raízes para a produção das culturas, pois as raízes absorvem água e nutrientes e a parte aérea produz metabólitos orgânicos. A localização dos corretivos e adubos nas camadas superficiais, sem a incorporação mecânica, também altera a distribuição de nutrientes no perfil do solo, influenciando a sua disponibilidade e absorção pelo sistema radicular das plantas. Considerando esses aspectos, há necessidade de um aprofundamento e ampliação de conhecimentos a respeito dos efeitos da calagem superficial no sistema plantio direto sobre a disponibilidade de nutrientes no solo e o crescimento radicular das plantas, de forma a possibilitar uma adequada orientação sobre o manejo da fertilidade do solo.

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o crescimento radicular e a nutrição de plantas de milho (*Zea mays* L.) em função da aplicação de doses de calcário na superfície, em um Latossolo Vermelho distrófico muito argiloso, manejado há seis anos no sistema plantio direto.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O SISTEMA PLANTIO DIRETO

O sistema plantio direto pode ser conceituado como um sistema de manejo do solo ou como um sistema de exploração agropecuário. É considerado um sistema de manejo do solo porque envolve uma série de práticas agrícolas que alteram os atributos químicos, físicos e biológicos do solo. A conservação do solo e a melhoria da sua fertilidade são os resultados almejados pelo plantio direto, como sistema de manejo de solo (SALET, 1994).

As primeiras citações sobre esse sistema de cultivo são provenientes dos EUA, onde houve grande expansão, principalmente após a última Grande Guerra Mundial, pois a partir dessa época acelerou-se a produção de agroquímicos e desenvolveram-se as primeiras semeadoras adaptadas ao sistema plantio direto (CASTRO, 1985). WIETHÖLTER (2000) cita que o plantio direto teve seu início na Inglaterra na década de 1940, nos EUA nos anos de 1950 e na Alemanha na década de 1960.

No Brasil, o marco oficial de sua introdução ocorreu no início da década de 1970, nos municípios de Londrina e Ponta Grossa, no Paraná, com o desenvolvimento das primeiras pesquisas pelo Ministério da Agricultura (MUZILLI, 1985a), e em 1972 no Rio Grande do Sul (WIETHÖLTER, 2000).

Existem relatos na literatura de que os primeiros cultivos em sistema plantio direto teriam se iniciado em Minas Gerais (MUZILLI, 1981). A grande evolução na utilização desse sistema ocorreu no final da década de 1970 (MUZILLI, 1985a) e nos anos de 1980 (DERPSCH, 1984).

Os principais problemas iniciais foram a disponibilidade de semeadoras para cultivo em solo sem preparo e coberto com resíduos vegetais, o controle de plantas daninhas, o custo dos herbicidas, o manejo da calagem e da adubação e as incertezas quanto ao efeito da ausência de preparo do solo na produtividade das culturas. (WIETHÖLTER, 2000).

Os primeiros trabalhos de pesquisa realizados no Brasil, enfocando a caracterização física do solo, manejado no sistema plantio direto, foram de MUTTI (1976) e MACHADO; BRUM (1978). Depois, com ênfase nos atributos químicos desse sistema, MUZILLI (1983) e SIDIRAS e PAVAN (1985), publicaram os primeiros trabalhos de pesquisa.

O plantio direto pode ser dividido em duas fases: a de implantação e a de consolidação do sistema. A fase de implantação compreende os primeiros 4 ou 5 anos do início do sistema, variando de acordo com o manejo, solo e clima. Após esta fase, o plantio direto apresenta uma série de alterações nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, em relação ao sistema convencional (SALET, 1994).

Diversas vantagens são apresentadas pelo sistema plantio direto em comparação com o sistema convencional de preparo do solo, como melhor aproveitamento de nutrientes, devido à diminuição das perdas por erosão; aumento do teor de matéria orgânica, que implica em melhoria nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo; aumento nas produtividades das culturas e, como consequência, maior retorno econômico, decorrente de menores custos de produção (MUZILLI, 1985a,b,c; SÁ, 1995). Parte significativa de tais melhorias pode estar relacionada à ausência de revolvimento e aumento de resíduos vegetais na superfície do solo, pelo uso de plantas de cobertura e redução das queimadas, o que tem propiciado um ambiente mais favorável à atividade biológica e ao aumento da matéria orgânica do solo (BAYER, 1996). Como consequência, há maior disponibilidade de fósforo (RHEINHEIMER, 2000), redução do efeito tóxico do Al (SALET, 1998), melhoria e estabilização da estrutura do solo pela formação da porosidade contínua e agregação estável (SILVA; MIELNICZUK, 1997).

Os resíduos vegetais deixados na superfície e o não revolvimento do solo no sistema plantio direto causam reflexos na fertilidade e na eficiência do uso de nutrientes pelas culturas (KOCHHANN; SELLES, 1991, KRAY et al., 1998, MUZILLI, 1985a).

O decréscimo na evaporação e a grande capacidade de armazenar água no solo proporciona maior reserva de umidade no plantio direto, fazendo com que, para curtas temporadas de seca, a cultura do milho possa suportar melhor o déficit hídrico do que no sistema convencional de preparo do solo (BLEVINS et al., 1971).

Os aumentos nos teores de MO, P, K, Ca e Mg na superfície do solo, juntamente com maior teor de umidade e temperaturas mais amenas, devido à não incidência direta dos raios solares, têm promovido aumento substancial da atividade da biomassa e da população microbiana nos solos. Este fato é de grande importância, uma vez que esses microorganismos podem imobilizar nutrientes em quantidades apreciáveis, liberando-os de forma lenta, gradual e evitando perdas (HUNGRIA et al., 1997).

Em relação ao controle da erosão e perdas de nutrientes, em condições de precipitação pluvial simulada, VIEIRA et al. (1978) observaram perdas de 3 e 5 vezes maiores de P e MO, respectivamente, e também maiores perdas de Ca e Mg em solos arados do que em locais sem preparo. Em condições naturais, CASTRO et al. (1986) não observaram perdas de solo e quantificaram menores perdas de água e de nutrientes em sistema plantio direto do que em diversos outros métodos de preparo.

2.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO

As alterações nos atributos químicos do solo no plantio direto são dinâmicas em função do tempo e modificados pelo manejo (CHITOLINA et al., 1999).

O preparo do solo promove alterações nos atributos químicos, principalmente em decorrência de maior ou menor revolvimento e da profundidade de trabalho a que o solo é submetido (MERTEN; MIELNICZUK, 1991).

A distribuição de nutrientes no perfil do solo é determinada pelo modo de aplicação de adubos e do seu grau de mistura com o solo. Combinações de métodos de preparo e modos de adubação resultam em uma variedade de frações fertilizadas de solo, com concentrações diferenciadas de nutrientes. Preparo com menor mobilização

do solo favorece o acúmulo de nutrientes, tais como P, K, Ca e Mg, na camada superficial (0-5 cm). Também aumentam a capacidade de troca de cátions, os teores de C-orgânico e N total, podendo ainda haver redução na saturação por Al, a partir de 4 a 5 anos do estabelecimento do sistema (MUZILLI, 1983; SIDIRAS; PAVAN, 1985; BAYER, 1992).

Em solos manejados no sistema plantio direto, ocorre maior concentração de MO, P, K, Ca e Mg nas camadas superficiais do solo (ELTZ et al., 1989; WIETHÖLTER et al., 1998), em decorrência da aplicação superficial de adubos e corretivos e da ausência de revolvimento, causando influência na disponibilidade de nutrientes e no seu aproveitamento pelas plantas (CENTURION; DEMATTÊ, 1985; MUZILLI, 1983; PAIVA, 1990; MERTEN; MIELNICZUK, 1991). A deposição de resíduos vegetais sobre a superfície do solo e a reação de adubos nitrogenados condicionam a formação de uma frente de acidificação (PAIVA et al., 1996), com aumento nos teores de alumínio trocável e da necessidade de calagem (WIETHÖLTER et al., 1998).

A ausência de revolvimento do solo no sistema plantio direto implica na realização de calagem sobre a superfície. Neste caso, o pH e os teores de Ca e Mg somente seriam aumentados nas camadas superficiais do solo. Esta restrição do efeito alcalino do calcário ao local de aplicação é atribuída à sua baixa solubilidade, à ausência de um ânion estável em sua reação no solo e à geração de cargas dependentes de pH (PAVAN et al., 1984).

Entretanto, no sistema plantio direto, a presença de resíduos vegetais na superfície pode causar aumento no pH e nos teores de Ca e Mg trocáveis e redução do Al trocável até camadas mais profundas do solo (SIDIRAS; PAVAN, 1985).

O sistema plantio direto não provocou aumento de acidificação na camada até 20 cm de profundidade dos solos LRd e LEd, em relação ao sistema convencional de preparo, em trabalhos conduzidos por MUZILI (1983), nos municípios de Londrina e de Carambeí (PR). No mesmo estudo, os teores de Ca + Mg trocáveis, de P extraível e

de K trocável, a partir de quatro anos, tenderam a aumentar na camada superficial e a diminuir, gradativamente, nas camadas mais profundas, em sistema plantio direto, principalmente no LRd.

Em outro trabalho realizado em Londrina (PR) (SIDIRAS e PAVAN, 1985), por quatro anos, observou-se que os valores de pH e os teores de Ca + Mg trocáveis, P extraível e K trocável do solo (LRd e TE) aumentaram, enquanto os de Al trocável diminuíram, na profundidade de 0-10 cm, no sistema plantio direto, em comparação com o preparo convencional.

SANTOS e LHAMBY (1992), também no Estado do Paraná, notaram no sistema plantio direto, que os valores de pH e os teores de Ca + Mg trocáveis aumentaram com a profundidade de amostragem, enquanto os de Al trocável foram maiores na superfície (0-5 cm) do que nas camadas mais profundas (15-20 cm).

SANTOS e SIQUEIRA (1992) verificaram, após 4,5 anos da implantação do sistema plantio direto, em esquemas de rotação de culturas para cevada, diminuição dos valores de pH e de teores de Ca + Mg trocáveis, e aumento de Al trocável, de MO, de P extraível e de K trocável na superfície (0-5 cm), em comparação com as camadas mais profundas (10-15 cm). Houve, portanto, maior acidificação do solo da camada superficial (0-5 cm).

PEIXOTO e ELTZ (1986), em um levantamento de fertilidade do solo em áreas cultivadas em plantio direto na região dos Campos Gerais do Paraná, verificaram, com uma amostragem estratificada do perfil, um gradiente acentuado na concentração de nutrientes, diminuindo da superfície do solo até a profundidade de 10 cm.

Vários trabalhos realizados no EUA (SHEAR e MOSCHLER, 1969; TRIPLETT JR. e VAN DOREN JR, 1969; BLEVINS et al. 1977, 1978) mostraram, após seis anos de plantio direto, acúmulo de resíduos vegetais e elevação dos teores de MO, P, Ca, Mg e K, na camada de 0-5 cm, em relação ao preparo convencional.

MOSCHLER et al. (1973) e BLEVINS et al. (1977), após seis anos de plantio direto, verificaram redução do pH na camada 0-5 cm do solo, requerendo a aplicação de calcário. Esses autores observaram redução acentuada de pH no preparo convencional. Contudo, não se verificaram diferenças de pH entre a aplicação de calcário na superfície ou incorporado, nas camadas de solo 0-5 cm ou 0-10 cm.

2.3 ACIDEZ E CALAGEM EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

A maioria dos trabalhos tem demonstrado a necessidade de calagem para obtenção de altas produtividades em solos ácidos brasileiros. Esses solos, em geral, apresentam, toxidade de Al e de Mn, associada às deficiências de Ca, Mg e P (JACKSON, 1967; MIYAZAWA et al., 2000).

O cultivo contínuo e intensivo dos solos pode acarretar, quando não se utiliza a tecnologia apropriada, a degradação do seus atributos físicos e químicos. A situação tende a ser mais crítica para as culturas anuais em sistema convencional de preparo, condição em que o solo é periodicamente revolvido. Além disso, a necessidade de aplicação de adubos nitrogenados, notadamente os amoniacais, em quantidades elevadas para manter os níveis de produção em patamares desejados, vem contribuindo para o aumento dos custos de produção e para alteração dos atributos da fertilidade do solo, intensificando o processo de acidificação (PAIVA, 1990).

O cultivo contínuo do solo, geralmente, propicia a sua acidificação, independente do sistema de preparo. No sistema plantio direto, há tendência de diminuição do pH do solo e aumento nos teores de Al trocável na camada superficial (CASSOL e ANGHINONI, 1995), evidenciando a necessidade de aplicação de calcário.

A acidificação do solo no sistema plantio direto é causada, principalmente, pela decomposição de resíduos vegetais que são mantidos na superfície do solo e/ou desbalanço no ciclo do nitrogênio (RHEINHEIMER et al., 2000).

A aplicação superficial de adubos nitrogenados amoniacais liberam ions hidrogênio durante a nitrificação que, associados à lixiviação do nitrato provocam o abaixamento do pH (BLEVINS et al., 1983). No entanto, MACKAY et al., (1987) verificaram que o pH mais baixo na superfície do solo manejado em plantio direto ocorre mesmo quando não é aplicado nitrogênio. Esse abaixamento do pH pode se tornar limitante à produção vegetal, em função da toxidez de Al e/ou de Mn e do desbalanço na disponibilidade de nutrientes às plantas (RHEINHEIMER et al., 2000).

A maior disponibilidade hídrica no sistema plantio direto contribui para uma maior infiltração de água no solo por meio dos macroporos. Dessa forma, a lixiviação dos ânions nitrato deve ser mais intensa no plantio direto. O nitrato não se move isoladamente, havendo sempre uma quantidade equivalente de cátions sendo removidos, contribuindo para a acidificação do solo. Alguns trabalhos têm mostrado que a quantidade de bases trocáveis (Ca, Mg e K) é maior no sistema convencional de preparo do solo em relação ao plantio direto, devido às perdas por lixiviação no plantio direto associada à redução de pH (HARGROVE et al., 1982; BLEVINS et al., 1978).

A acidez gerada pela reação de nitrificação tende a não se deslocar no perfil do solo, ficando restrita à região onde foi aplicado o fertilizante amoniacal. Em função da acidez gerada no plantio direto se encontrar na superfície do solo, BLEVINS et al. (1978) concluíram que a neutralização é mais fácil, requerendo apenas aplicação superficial do calcário.

Contrariando esses resultados, MUZILLI (1983) verificou que os teores de Ca e Mg foram maiores no plantio direto. O autor atribuiu este fato ao maior pH do solo encontrado no plantio direto, à não mobilização do solo e à redução das perdas do solo por erosão. De qualquer forma, os efeitos dos métodos de preparo do solo sobre os parâmetros da fertilidade são bastante controversos.

O materiais corretivos da acidez do solo mais usados na agricultura são rochas calcárias moídas, constituídas por misturas de minerais como a calcita e a dolomita, os quais possuem em sua composição carbonatos de cálcio e/ou magnésio, que são pouco

solúveis em água. Para que a acidez do solo seja neutralizada, as partículas de solo devem entrar em contato com o calcário ou com os produtos de sua transformação. Decorre daí a necessidade de incorporar calcário ao solo da melhor forma possível, o que nem sempre se consegue fazer em condições de campo (WEIRICH NETO et al., 2000).

A técnica mais utilizada na agricultura para neutralizar H e Al e conseqüentemente, elevar o pH em solos ácidos, consiste da aplicação de calcário dolomítico ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$) e/ou calcítico (CaCO_3) (MIYAZAWA et al., 2000; CASSIOLATO et al., 1998; MUZILLI, 2000). Além disso, estes produtos são de baixo custo, de fácil aplicação e fonte de nutrientes Ca e Mg para as plantas (MIYAZAWA et al., 2000). A correção da acidez do solo é realizada pela calagem, que pressupõe a incorporação uniforme do calcário por arações e gradagens. No entanto, o revolvimento do solo tem a desvantagem de destruir os agregados de maior tamanho (FUCKS et al., 1994). Para que ocorra a recuperação da estrutura original, CARGNELUTTI et al. (1996) mostraram que são necessários, aproximadamente, três anos de cultivo no sistema plantio direto.

O plantio direto caracteriza-se pelo não revolvimento do solo e pela conseqüente manutenção dos restos culturais sobre a superfície. Embora a aração de solos submetidos ao sistema plantio direto seja tecnicamente viável para incorporar calcário, a maioria dos produtores não deseja mais usá-la, para não destruir o que foi ganho pela adoção do sistema plantio direto (aumento do teor de matéria orgânica na camada superficial, aumento da CTC, melhoria da estrutura do solo, etc.) Assim, a busca de métodos alternativos para a aplicação de calcário em lavouras desenvolvidas no sistema plantio direto tem sido uma preocupação constante por parte de pesquisadores e de outros profissionais ligados ao assunto (PÖTTKER; BEN, 1998).

Em decorrência da baixa mobilidade do CaCO_3 no solo, a melhoria das condições químicas pode ser limitada à camada incorporada, que na maioria das vezes não ultrapassa os primeiros 20 cm do solo. Deste modo, para corrigir a acidez

subsuperficial do solo seria necessária a incorporação profunda do calcário. No entanto, esta técnica é bastante onerosa e impraticável em áreas manejadas no sistema plantio direto. (MIYAZAWA et al., 2000).

A eficiência da aplicação superficial de calcário em solo manejado no sistema plantio direto, particularmente na correção da acidez do subsolo, é controversa. Resultados de pesquisas realizadas com solos brasileiros indicaram pequeno ou nenhum movimento do calcário além do local de sua aplicação (GONZALES-ERICO et al., 1979; RITCHEY et al., 1980; PAVAN et al., 1984). Entretanto, em outros trabalhos realizados no Brasil (CHAVES et al., 1984; OLIVEIRA e PAVAN, 1996; CAIRES et al., 1998) foram observados aumentos de pH e Ca trocável e redução de Al trocável em camadas do subsolo com a aplicação de calcário na superfície.

A eficiência da calagem superficial na correção da acidez do subsolo, em sistema plantio direto, pode estar relacionada com a formação de uma rede de canais contínuos e profundos, oriundos da morte das raízes e da atividade de minhocas e corós (LAL; VANDOREN, 1990). A manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo diminui as variações de temperatura e umidade e favorece a fauna, responsável pela abertura de canais, pelos quais pode ocorrer o transporte de partículas finas de calcário para a subsuperfície (LAL; VANDOREN, 1990). Também, a liberação de compostos orgânicos hidrossolúveis e a lixiviação de nitratos, atuando como ligantes ou pares iônicos, podem agir como carregadores de Ca e Mg, facilitando sua distribuição no perfil do solo (GROVE; BLEVINS, 1988; MIYAZAWA et al., 1992; PAVAN, 1997; AMARAL et al., 1998; CAIRES et al., 1999; RHEINHEIMER et al., 2000).

Recentemente, PAVAN (1997) relatou a eficácia das plantas de cobertura em possibilitar a correção da acidez por processos organo-químicos no sistema plantio direto, graças ao papel desempenhado na dinâmica de íons, onde ácidos orgânicos hidrossolúveis de baixo peso molecular, oriundos da decomposição dos resíduos vegetais, promovem a ciclagem de elementos químicos no solo.

Vários estudos realizados em laboratório têm demonstrado a mobilidade de complexos orgânicos de Ca, principalmente na forma de Ca- fulvato (MIYAZAWA et al., 2000). Em áreas manejadas no sistema plantio direto e em culturas perenes, a aplicação de calcário na superfície do solo, associada ao manejo de resíduos vegetais, promoveu elevação de pH, redução de Al trocável e aumento nos teores de Ca e Mg até a camada subsuperficial, de maneira similar ao observado com a aplicação de Ca-fulvato (PAVAN, 1994; OLIVEIRA; PAVAN, 1996; CAIRES et al., 1998).

A capacidade dos resíduos vegetais de neutralizarem a acidez dos solos está relacionada com a quantidade de cátions (Ca, Mg e K) e, conseqüentemente, de ânions orgânicos, devido à necessidade de manter a eletroneutralidade na planta. Os resíduos de adubos verdes em geral (aveia preta, nabo forrageiro, tremoço, leucena, mucuna cinza e crotalária) apresentam altas quantidades de cátions no tecido. No entanto, a capacidade de neutralização do H^+ do resíduo vegetal reduz com o avanço da idade da planta (MIYAZAWA et al., 2000).

Os teores de alumínio trocável são menores no plantio direto, apesar do pH ser menor. BLEVINS et al. (1978) relataram que este fato pode ser explicado pelo acúmulo de matéria orgânica no solo manejado em plantio direto, acarretando na redução do teor de alumínio trocável. Os grupamentos funcionais dos ácidos orgânicos formam complexos com Al, reduzindo os teores trocáveis e o seu efeito tóxico (HUE et al., 1985).

Os tipos de ácidos orgânicos acumulados também afetam sobremaneira a toxicidade do alumínio. Segundo HUE et al. (1985), existe uma variação entre os diferentes ácidos orgânicos no que se diz respeito à sua capacidade de formar complexos estáveis com o Al e de reduzir o Al trocável. A aplicação de matéria orgânica no solo tem sido sugerida como alternativa para correção da acidez e

neutralização do Al tóxico (ASGHAR e KANEHIRO¹; SANCHEZ² et al; HUE e AMIEN³; HUE⁴ citado por MIYAZAWA et al, 1993).

Dentre os principais mecanismos responsáveis pela melhoria dos atributos químicos do solo após a aplicação de resíduos vegetais, destacam-se: adsorção de H^+ e Al^{3+} na superfície do material vegetal, complexação do Al por compostos orgânicos, troca de ligantes entre OHs terminais de óxidos de Fe e Al e ânions orgânicos e aumento do potencial de oxidação biológica de ânions orgânicos (MIYAZAWA et al., 1993; FRANCHINI et al., 1999).

A matéria orgânica pode diminuir a fitotoxidez do Al, devido à possibilidade de formar ligações estáveis entre ambos (ERNANI e GIANELLO, 1982; MIYAZAWA et al., 1992; ERNANI et al., 1998), ou ainda manter complexos orgânicos hidrossolúveis na solução do solo, que atuam como agentes complexantes de cátions metálicos, diminuindo a sua atividade (DRISCOLL; SCHECHER, 1988; MIYAZAWA et al., 1992).

São vários os trabalhos que têm demonstrado a viabilidade de aplicação de calcário na superfície para a produção de culturas em rotação no sistema plantio direto (MOSCHLER et al., 1973; BLEVINS et al., 1978; PÖTTKER; BEN, 1998; CAIRES et al., 1999, 2000).

MOSCHLER et al. (1973), trabalhando em solos com pH 5,3 em H_2O (preparo convencional) e 4,8 (plantio direto), ambos determinados na camada de 0-10 cm, estudaram o efeito do calcário aplicado na superfície do solo em plantio direto e

¹ ASGHAR, M.; KANEHIRO, Y. Effects of sugar-cane trash and pineapple residue on soil pH, redox potential, extractable Al, Fe and Mn. **Tropical Agriculture**, Trinidad, v. 57, n. 3, p. 245, 1980.

² SANCHEZ, P. A. et al. Amazon basin soils: management for continuous crop production. **Science (Washington D.C.)**, v. 216, p. 821-824, 1982.

³ HUE, N. V.; AMIEN, I. Aluminum detoxification with green manures. **Communications Soil in Science and Plant Analysis**, New York, v. 20, p. 1499-1511, 1989.

⁴ HUE, N. V. Connecting soil acidity of a highly weathered ultisol with chicken manure and sewage sludge. **Communications Soil in Science and Plant Analysis**, New York, v. 23, p. 241-264, 1992.

daquele incorporado ao solo no sistema convencional de preparo (aração + gradagens). Na média de oito anos, o aumento na produção de grãos de milho com a calagem foi de 31,3% no sistema plantio direto, e de apenas 13,5% no sistema convencional, demonstrando a viabilidade de aplicação do calcário na superfície do solo.

BLEVINS et al. (1978) também reportaram aumentos na produção de grãos de milho pela aplicação de calcário na superfície de solos com pH inicial de 5,6 e 5,1 em H₂O e concluíram ser esse método eficiente para neutralizar a acidez do solo causada pela fertilização nitrogenada do milho cultivado no sistema plantio direto. No entanto, os autores alertaram que, se o solo apresentar pH muito baixo, a incorporação do calcário pode ser necessária.

Trabalhos realizados em latossolos ácidos do Paraná (CAIRES et al., 1998; 1999) e do Rio Grande do Sul (PÖTTKER e BEN, 1998) mostraram claramente que é possível obter altas produtividades das culturas com a calagem na superfície em sistema plantio direto.

Critérios de recomendação de calagem na superfície, com base na análise química do solo, em plantio direto, foram recentemente investigados (CAIRES et al., 2000). A dose de calcário indicada pelo método da elevação da saturação por bases (V) do solo a 65%, para amostra coletada na profundidade de 0-20 cm, mostrou-se eficiente para a recomendação de calagem na superfície em sistema plantio direto. Todavia, a calagem superficial deve ser recomendada somente para solo com pH(CaCl₂) inferior a 5,6 ou saturação por bases (V) inferior a 65%, na camada de 0-5cm (CAIRES et al., 2000).

2.4 SISTEMA RADICULAR

O desenvolvimento radicular é muito importante para o adequado crescimento das plantas. Há uma relação positiva entre profundidade de enraizamento, vigor da

planta e produtividade das culturas (MATHIEU⁵ citado por SIQUEIRA et al., 1997).

Segundo FANTE (1997), a avaliação da distribuição do sistema radicular de uma cultura pode ser uma prática fundamental no diagnóstico da eficiência de sistemas de manejo que visem a otimização da produtividade agrícola, porém, essa distribuição do sistema radicular é resultante de uma série de processos complexos e dinâmicos, os quais incluem as interações entre o ambiente, o solo e as plantas em pleno crescimento.

Manejos conservacionistas de solo, quando comparados ao sistema convencional de preparo, proporcionam modificações nos atributos físicos e químicos do solo. Operações de preparo do solo podem alterar seus atributos físicos, tais como densidade, porosidade e resistência mecânica à penetração nas frações mobilizadas e adjacências. Isso pode afetar a distribuição e a morfologia das raízes, com reflexos no crescimento da parte aérea (KLEPKER; ANGHINONI, 1995; BARRETO, 1991). A interdependência entre raiz e parte aérea é a mais óbvia característica das plantas – a raiz obtém água e nutrientes, enquanto a parte aérea é a fonte inicial de todos os metabólitos orgânicos. Entretanto, apenas esse fato, por si só, não explica a estreita correlação que existe entre o crescimento da raiz e da parte aérea durante a fase vegetativa. As raízes são o principal local de síntese de alguns hormônios que regulam o crescimento, tais como citoquininas e giberelinas. O etileno, que é produzido tanto na raiz como na parte aérea, também é um regulador de crescimento. Portanto, o sistema radicular não é um órgão meramente de absorção e fixação para a planta. As raízes e a parte aérea devem ser consideradas conjuntamente, quando se deseja um adequado entendimento sobre a performance das plantas (RUSSELL, 1981).

As condições que mais freqüentemente determinam o crescimento radicular e a sua forma de distribuição encontram-se relacionadas com atributos existentes na

⁵ MATHIEU, C. Action du travail du sol avant plantation des agrumes sur la morphologie de leur système racinaire en vergers irrigués au Maroc. **Fruits**, Paris, v. 42, n. 5, p. 295-304, 1987.

zona das raízes, como densidade, aeração, movimento de água, nutrientes, pH, presença de elementos tóxicos (BROWN e SCOTT, 1984), temperatura, ataque de pragas e doenças (TAYLOR; ARKIN, 1981).

REICHARDT (1981) menciona que o pH do solo, o teor de Al trocável, a densidade do solo, o armazenamento de água e a condutividade hidráulica influenciam o crescimento das raízes. Para DEMATTÊ (1981), o desenvolvimento radicular pode ser comprometido pela compactação devida ao manejo ou aos processos pedogenéticos.

As condições do solo e do clima podem limitar o desenvolvimento radicular das plantas. É desejável que as plantas tenham um sistema radicular bem desenvolvido, ocupando maior volume de solo e atingindo profundidade maior para, que elas possam absorver água e nutrientes das camadas subsuperficiais, nos períodos de “veranico”, reduzindo os efeitos adversos das estiagens (PINTO, 1989; SEGUY et al., 1984).

A maior extensão do sistema radicular e o maior volume de solo explorado trazem como consequência o melhor aproveitamento de água e de todos os nutrientes, mas especialmente daqueles mais móveis como o N (CANTARELLA, 1993).

Espera-se que plantas com menor crescimento radicular apresentem menor absorção de nutrientes, a não ser que a solução do solo tenha alta concentração de nutrientes na camada do solo próxima à superfície (PÖTTKER, 2000).

O tamanho e a morfologia do sistema radicular podem ter efeito na extração de nutrientes do solo. As raízes longas e finas têm uma superfície maior do que as raízes curtas e espessas e, desta forma, pode-se esperar que elas explorem o mesmo volume de solo mais efetivamente, pela redução do caminho médio de difusão (SUMNER; BOSWELL, 1981).

O tamanho e a forma do sistema radicular influenciam quantitativamente a taxa e o modo de absorção dos nutrientes do solo e são significativamente afetados pelo suprimento de nutrientes (BARLEY, 1970).

As raízes das plantas possuem séria desvantagem em obter nutrientes quando somente uma pequena quantidade de raízes se desenvolve no volume total de solo à sua disposição. Uma proliferação extensiva de raízes é essencial para capacitar a planta a utilizar a umidade do solo efetivamente. A extensão do sistema radicular também determina a profundidade de exploração e absorção das reservas de água e de nutrientes armazenados no subsolo (PISSAIA, 1997).

GREGORY (1994) relata que o desenvolvimento, o crescimento e a distribuição de raízes são afetados pela quantidade, forma e modo de distribuição de nutrientes no solo.

Quando o teor do nutriente no solo é baixo, sua absorção pelas plantas será baixa, não devido à falta de habilidade da planta para absorver o nutriente, mas pela limitação imposta em seu suprimento pelo solo (BECKER, 1984).

A distribuição de nutrientes na superfície pode promover a concentração de raízes nessa profundidade e limitar a capacidade das plantas em absorver água disponível, em profundidade (BOUNDER et al., 1985). A distribuição de raízes no perfil do solo pode ser modificada pelo modo de distribuição dos fertilizantes (MARSCHNER, 1995).

Solos com altos teores de matéria orgânica e boa estruturação física permitem armazenamento de água e aeração adequados, os quais são favorecidos pela presença de redes de canais formados pela decomposição de raízes velhas, e/ou de galerias resultantes da atividade de insetos do solo. Isso pode facilitar o crescimento das raízes, em decorrência de menor resistência física, maior disponibilidade de nutrientes e menor toxicidade de alumínio (GASSEN; KOCHHANN, 1998).

Segundo BECKER (1984) e CLAASSEN e BARBER (1974), o crescimento adequado das plantas depende, em parte, do suprimento de nutrientes pelo solo. Para que ocorra a absorção de nutrientes é necessário que os mesmos entrem inicialmente em contato com a superfície das raízes. O suprimento de nutrientes depende de atributos físicos e químicos do solo e envolve os mecanismos que determinam o fluxo

de nutrientes até a superfície das raízes. A absorção de nutrientes, propriamente dita, depende, por sua vez, da morfologia do sistema radicular (taxa de crescimento, raio médio e comprimento de raízes).

O contato entre os nutrientes e a superfície das raízes ocorre através do crescimento radicular ou pelo movimento dos íons no solo em direção às raízes. Sendo assim, foram propostos três mecanismos para absorção chamados de interceptação radicular, fluxo de massa e difusão (BECKER, 1984).

A quantidade de íons que chega até a superfície radicular depende dos atributos físicos do solo e também da configuração do sistema radicular (BARLEY, 1970). Se, por exemplo, a área externa do sistema radicular for diminuída pela resistência mecânica do solo, a quantidade de nutrientes que chegará até a superfície das raízes será menor (VIEIRA et al., 1978).

As baixas produções observadas nos solos ácidos podem ser consequência do menor enraizamento das plantas, o que prejudica a absorção de água e nutrientes (RITCHEY et al., 1980).

MARSCHNER (1995) relata a importância das raízes penetrarem no subsolo para que as plantas possam absorver água e nutrientes de camadas mais profundas. O subsolo ácido pode ser uma séria limitação para essa penetração de raízes. Há correlação entre o aumento do volume do solo corrigido em profundidade e a alongação do sistema radicular no subsolo.

De acordo com CANTARELLA (1993), a correção da acidez do solo é importante para garantir o ambiente ideal ao desenvolvimento do sistema radicular e facilitar a absorção de nutrientes. Em solos com acidez na subsuperfície, o Al inibe o crescimento radicular, predispondo as plantas a danos maiores, em casos de veranicos, reduzindo a absorção de água e nutrientes. Com o tempo, as bases adicionadas pelo calcário são lixiviadas, facilitando a penetração de raízes, e em alguns casos, podem ajudar a alterar a reação do solo em horizontes subsuperficiais. Verificou-se que a absorção de N pelo milho foi cinco vezes maior em função do aprofundamento do

sistema radicular nas áreas tratadas com 9 t ha⁻¹ de calcário (CANTARELLA, 1993). Esse efeito pode ser muito importante para aumentar o aproveitamento pelo milho, da adubação nitrogenada porventura perdida por lixiviação.

É reconhecido que, na maioria dos solos ácidos, não é propriamente o pH, ou seja, a atividade dos ions H⁺ na solução do solo, que determina a ação prejudicial da acidez sobre as plantas (RIESEMBERG, 1994).

PEARSON (1975) considera a toxidez do Al como a maior causa da baixa fertilidade dos solos ácidos. Na maioria dos solos, devido à relação inversa bem conhecida entre a concentração de Al em solução e o pH, pode-se definir a faixa de pH da suspensão solo-água compreendida entre 4,0 e 5,0 como a mais provável de ocasionar problemas para o crescimento das plantas.

Nas raízes, o excesso de Al interfere na divisão celular causando danos, o que reduz a elongação do eixo principal, tornando-as espessas, de coloração castanha, quebradiças e às vezes com manchas necróticas, além de inibir seu crescimento. Assim, o sistema radicular não apresenta raízes finas, é reduzido em tamanho, e de aparência coraióide (FOY, 1974; MALAVOLTA et al., 1989; FURLANI, 1989): As raízes secundárias são pouco numerosas, com desenvolvimento limitado e ausência de pêlos radiculares, tendo como consequência pouca eficiência na absorção de água e nutrientes (FLEMING; FOY, 1968; CANAL, 1980).

A presença de quantidades excessivas de Al na solução do solo é o principal fator de natureza química responsável pela inibição do crescimento de raízes em solos ácidos (ADAMS; MORE, 1983).

Em solos com horizontes subsuperficiais ácidos, o problema é agravado pelos efeitos negativos do alumínio no crescimento do sistema radicular de plantas sensíveis, o que acarreta reduzida exploração, pelas raízes, de água e nutrientes (FURLANI et al., 1986; PÖTTKER, 2000; SOUZA; RITCHEY, 1986).

A fitotoxidez do Al manifesta-se principalmente por meio da restrição no crescimento das raízes (ERNANI e BARBER, 1991; REINHEIMER et al., 1994), com reflexos negativos na absorção, na translocação de nutrientes e na absorção da água.

A solubilidade do Al diminui com a calagem e quando o pH do solo, determinado em água, atinge valores superiores a 5,4 e 5,5, o Al^{+3} precipita-se completamente (ERNANI e ALMEIDA, 1986) e deixa de prejudicar as plantas.

A atividade do Al e seu efeito tóxico também diminuem com a aplicação de adubos orgânicos ao solo (ERNANI e GIANELLO, 1982), mediante reações de complexação (MIYAZAWA et al., 1992).

A presença de Ca diminui o efeito da toxidez do Al em raízes. A toxidez de Mn ocorre com menor frequência do que a toxidez de Al, já que as plantas podem tolerar altos níveis de Mn solúvel. A toxidez de Mn geralmente afeta mais a parte aérea das plantas do que a raiz (FOY, 1974).

A necessidade de Ca para o crescimento da planta pode ser facilmente demonstrada pela interrupção no fornecimento deste nutriente às raízes; a taxa de crescimento é imediatamente reduzida e após alguns dias as extremidades das raízes tornam-se marrons e gradualmente morrem (MENGEL; KIRKBY, 1987).

SÁ e PETRERE (1995) observaram que a distribuição do sistema radicular de milho no perfil do solo foi melhor em áreas com maior tempo de adoção do plantio direto, mesmo na presença de elevados teores de Al. No entanto, a presença de elevada acidez em profundidade pode dificultar o crescimento do sistema radicular nos primeiros anos após a implantação do plantio direto.

TRIPLETT JR. e VAN DOREN JR.⁶; KANG e YUNUSA⁷ citado por ELTZ et al. 1989, observaram crescimento radicular superficial da cultura do milho em plantio direto, com as raízes crescendo entre a superfície do solo e a camada de palha,

⁶ TRIPLETT JR., G. B.; VAN DOREN JR., D. M. Nitrogen, phosphorus and potassium fertilization of non-tilled maize. *Agronomy Journal*, Madison, v. 61, p. 637-639, 1969.

⁷ KANG, B. T.; YUNUSA, M. Effect of tillage methods and phosphorus fertilization on maize in the humid tropics. *Agronomy Journal*, Madison, v. 69, p. 291-294, 1977.

provavelmente devido ao adequado teor de umidade proporcionado pela cobertura morta e à maior disponibilidade de nutrientes nesta zona.

Em condições de déficit hídrico, o P pode tornar-se pouco disponível ao sistema radicular, restando à planta extraí-lo de profundidades maiores. Se houver deficiência de Ca, porém, nas camadas mais profundas, a raiz terá dificuldade para crescer em profundidade, pois necessita desse nutriente na sua zona de crescimento. Com isso, a planta pode sofrer estresse considerável por deficiência de água e outros nutrientes (ELTZ et al. 1989).

KLEPER e ANGHINONI (1995) conduziram um experimento em um Podzólico Vermelho-Escuro, com baixo teor original de P no solo, com o objetivo de relacionar a distribuição de raízes, nas frações de solo fertilizadas e não fertilizadas, com o estado nutricional do milho. Na fração do solo com maior disponibilidade de P houve maior crescimento radicular.

Segundo RAIJ et al. (1982), a mobilidade do P no solo é muito baixa. Com isso, a sua absorção pelas plantas se processa a pequenas distâncias em torno da raiz. Quanto maior o desenvolvimento do sistema radicular, mais favorável será a absorção do nutriente. Considerando a pequena mobilidade do P no solo em direção as raízes, a sua absorção depende de um amplo sistema radicular e ela aumenta na razão direta do volume de solo ocupado pelas raízes (BARBER; CHEN, 1990).

ROSOLEM et al. (1994) estudaram o sistema radicular e a nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. A calagem teve efeito positivo no crescimento radicular, na produção de matéria seca e na absorção de nutrientes pelo milho, independentemente da compactação do solo. A compactação em subsuperfície causou aumento da concentração de raízes na camada superficial, e drástica diminuição do crescimento radicular na camada mais profunda.

São poucos os trabalhos que quantificam o desenvolvimento e a densidade de raízes com a produtividade das culturas, principalmente quando comparado com o conhecimento alcançado no estudo da parte aérea (KÖEPKE, 1981). Os métodos

usuais para avaliação do sistema radicular são normalmente trabalhosos e destrutivos (RUSSEL, 1977) e de baixa precisão e repetibilidade (KÖEPKE, 1981). Entretanto, esses estudos são fundamentais, pois as raízes estão diretamente relacionadas com a absorção de água e nutrientes para as plantas e, portanto, com a produção das culturas, sendo reflexo da qualidade do solo (LETEY, 1985).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no município de Tibagi, no Estado do Paraná, na Fazenda Fortaleza, em um Latossolo Vermelho distrófico textura muito argilosa, manejado há seis anos no sistema plantio direto.

O município de Tibagi situa-se na região dos Campos Gerais, Centro-Sul do Paraná, compreendida entre o Primeiro e Segundo Planalto do Estado. O clima, segundo a classificação de Köppen é caracterizado como subtropical úmido (cfb) mesotérmico, com verões frescos, geadas severas e freqüentes no inverno. A temperatura média do mês mais quente é de 22 °C, e do mais frio, 18 °C, sem estação seca. A altitude média varia de 840 a 980 m, e o relevo varia entre suavemente ondulado a ondulado, apresentando declives acentuados em partes do município (MAACK, 1968).

O histórico da rotação de culturas utilizada na área experimental é mostrado na Tabela 01.

TABELA 01 – HISTÓRICO DA ROTAÇÃO DE CULTURAS DA ÁREA EXPERIMENTAL DA FAZENDA FORTALEZA, TIBAGI – PR

ANO	INVERNO	VERÃO
1993	Aveia Preta	Milho
1994	Aveia Preta	Soja
1995	Trigo	Soja
1996	Aveia Preta	Milho/Feijão
1997	Trigo	Soja
1998	Aveia Branca	Soja
1999	Aveia Preta	Milho

Desde 1978, a área foi cultivada no sistema convencional de preparo do solo. No ano de 1993, antes da adoção do plantio direto, a acidez do solo foi corrigida, elevando-se a saturação por bases a 70%. O corretivo da acidez foi incorporado ao solo com arado de aiveca na camada de 0-20 cm. No ano de 1995, foi realizada calagem aplicando-se o corretivo superficialmente na dose de 2 t ha⁻¹ (calcário

dolomítico, PRNT = 85%, PN = 97,8%, RE = 87,9%, CaO = 27% e MgO = 20%). Em 1998, ano da instalação do experimento, o local estava sem receber aplicação de calcário há três anos.

Anteriormente à implantação do experimento, foi realizada uma caracterização física e química do solo, em diferentes profundidades (Tabela 2). Foram coletadas 20 amostras simples através do trado calador, para formar uma amostra composta. Foram determinados o pH, e os teores de P (resina), K, Ca, Mg, Al e C-orgânico conforme os métodos propostos por RAIJ et al. (1987). Os teores de argila, silte e areia foram determinados pelo método do densímetro.

Os tratamentos, aplicados em parcelas de 44,8 m² (6,4 x 7,0 m), foram dispostos em blocos completos ao acaso com quatro repetições e constaram da aplicação de quatro doses de calcário dolomítico na superfície: 0, 1, 2 e 3 t ha⁻¹ (PRNT 100%). As doses de calcário foram calculadas com base no método da elevação de saturação por bases para 70% (0, $\frac{1}{3}$ V70, $\frac{2}{3}$ V70 e V70) da camada de 0-20cm. O calcário apresentava 27% de CaO, 20% de MgO, 97,8% de PN, 87,9% de RE e 85% de PRNT e foi aplicado em maio de 1998, antes da semeadura de aveia branca, utilizada para produção de cobertura vegetal. A semeadura de aveia branca foi realizada mecanicamente através de semeadora de parcelas, regulada para a distribuição de 60 kg ha⁻¹ de sementes, no espaçamento de 15 cm entrelinhas. Não utilizou-se nenhuma fonte de adubo, apenas aproveitando o efeito residual dos fertilizantes aplicados nas culturas anteriores. Nos anos posteriores, até implantação da cultura do milho, foram semeadas soja e aveia preta (Tabela 01).

TABELA 02 – RESULTADOS DE ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO EM DIFERENTES PROFUNDIDADES, ANTES DA IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO

Prof. cm	pH em CaCl ₂	C g dm ⁻³	P (resina) mg dm ⁻³	Al	Ca	Mg	K	V	Argila	Silte	Areia
						mmol _e dm ⁻³		%		g kg ⁻¹	
0 - 5	5,2	33	48	0	51	30	7,1	63	720	170	110
5 - 10	4,6	30	34	5	28	17	4,9	38	690	190	120
10 - 15	4,5	28	26	10	19	11	3,6	28	660	210	130
15 - 20	4,4	22	16	13	22	12	2,7	27	660	210	130
0 - 20	4,8	27	41	2	47	18	6,7	50	690	190	120

A semeadura do milho, híbrido simples Z-8392, tolerante ao Al (FURLANI et al., 2000) foi feita no dia 14/10/99, na densidade de cinco sementes por metro linear e espaçamento de 0,8 m entrelinhas. A adubação básica utilizada na semeadura foi de 300 kg ha⁻¹ da fórmula 10-20-20 + 1% Zn e, em cobertura, foram aplicados 90 kg ha⁻¹ de N, na forma de uréia, 55 dias após a semeadura. Para o controle das plantas daninhas foi utilizado Atrazina (1600g de i.a ha⁻¹) + nicossulfuron (15g de i.a ha⁻¹).

As amostras de folhas e plantas foram coletadas quando o milho estava com a inflorescência feminina exposta (*Vide* Foto 1 em anexo). Retirou-se a folha imediatamente abaixo e oposta à espiga de 30 plantas por parcela, para fins de diagnose foliar. Também foram retiradas 5 plantas inteiras, ao acaso, por parcela, para determinação da extração de nutrientes. As amostras de folhas e plantas foram lavadas, inicialmente com água corrente e, posteriormente, com água desionizada (03 vezes), e após o escoamento do excesso de água, retirou-se o terço médio das folhas. Os materiais coletados foram colocados para secar em estufa com circulação forçada de ar a 60° C até atingir massa constante e, posteriormente, moídos.

As determinações dos teores de nutrientes nas folhas e nas plantas foram realizadas no Laboratório de Nutrição de Plantas da Universidade Federal do Paraná (UFPR), usando-se a metodologia descrita no Manual da PERKIN ELMER (1976). A extração de P, Ca, Mg, K, Cu, Fe, Mn e Zn foi realizada através de duas incinerações, a primeira a seco e a segunda com adição de 5 gotas de HCl a 10%. As determinações de Ca, Mg e de micronutrientes catiônicos foram feitas por espectrofotometria de absorção atômica, o P foi determinado por colorimetria com molibdato vanadato de amônio, o K por fotometria de chama de emissão e o S determinado por turbidimetria com sulfato de bário. A extração de N foi feita por digestão sulfúrica, sendo determinado pelo método semi-micro Kjeldahl (SARRUGE; HAAG, 1974).

A amostragem de raízes de milho foi realizada na fase de enchimento de grãos na espiga, conforme recomendação de MENGEL e BARBER (1974). Utilizando-se o método do trado cilíndrico, com 3,6 cm de diâmetro e 100 cm de comprimento (*Vide*

Foto 2 em anexo), as amostras de raízes foram coletadas, ao acaso, na linha de semeadura e nas entrelinhas (*Vide* Foto 3 em anexo), retirando-se quatro subamostras por parcela para constituir uma amostra composta. As raízes foram coletadas a uma distância da planta de 10 cm na linha e 30 cm na entrelinha, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm. Para a dispersão do solo e separação das raízes, as amostras foram lavadas cuidadosamente com água, utilizando-se peneiras com malha de 2 e 0,5 mm (*Vide* Foto 4 e 5 em anexo). Em seguida, as raízes foram transferidas para recipientes contendo solução alcóolica a 2%. Depois, esses recipientes foram levados para refrigeração para posterior avaliação das raízes.

O comprimento radicular foi determinado de acordo com o método de intersecção (*Vide* Foto 6 em anexo) proposto por Tennant (1975) (Equação 1). O raio médio das raízes (Equação 2) e a superfície radicular (Equação 3) foram calculados de acordo com SHENK e BARBER (1979), pressupondo-se que as raízes apresentam forma cilíndrica e densidade igual a $1,0 \text{ g cm}^{-3}$ quando saturadas com água ou solução alcóolica a 2%.

$$C = n \cdot fc \quad [\text{Equação 1}]$$

$$R = (\mu / \pi \cdot C)^{1/2} \quad [\text{Equação 2}]$$

$$Sr = 2\pi \cdot R \cdot C \quad [\text{Equação 3}]$$

C = comprimento de raízes

n = número de intersecções

fc = 0,7857 (fator de correção para a grade utilizada de $1 \times 1 \text{ cm} = 1 \text{ cm}^2$)

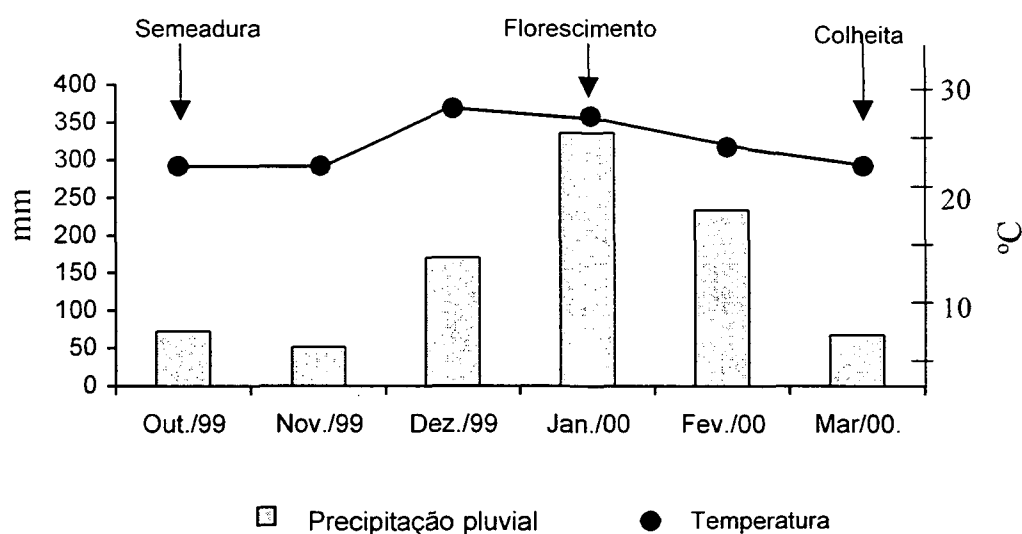
R = raio médio de raízes

μ = massa úmida de raízes

Sr = superfície radicular

A colheita foi feita manualmente no dia 21/03/00 nas quatro linhas centrais por quatro metros de comprimento de cada parcela, compreendendo uma área útil de 12,8 m². Na colheita, utilizou-se trilha mecânica com debulhadora de grãos estacionária, sendo determinada a produção de grãos a 130 g kg⁻¹ de umidade. Durante todo o período em que a cultura do milho esteve no campo, as temperaturas foram normais e as precipitações pluviais foram bem distribuídas para o cultivo do milho (Figura 01).

FIGURA 01 – TEMPERATURA MÉDIA MENSAL (°C) E SOMA MENSAL DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL DIÁRIA ACUMULADA (mm). TIBAGI-PR, 1999/2000



Amostras de solo foram coletadas logo após a colheita da cultura do milho, 22 meses após aplicação do calcário. As amostras foram retiradas nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, através de trado, em número de 10 subamostras por parcela, para constituir uma amostra composta. As amostras foram levadas ao laboratório, colocadas para secar em estufa a 60 °C. Após a secagem, as amostras foram moídas e passadas em peneira de 2 mm. Essas amostras foram analisadas quimicamente pelo Laboratório de Química e Fertilidade de Solos da Universidade Federal do Paraná (UFPR), seguindo as metodologias descritas por PAVAN et al. (1992) para

determinação de pH em CaCl_2 , Al, Ca, Mg, K, P e C- orgânico. Os micronutrientes do solo (Mn, Cu, Zn e Fe) foram determinados pela metodologia de LINDSAY e NORWEL (1978), mediante extração com DTPA.

Foram ajustadas equações aos dados obtidos em função das doses de calcário utilizadas através de análises de regressão por polinômios ortogonais. As análises estatísticas foram executadas por meio de programa de computador ESTAT, conforme método descrito por BANZATO e KRONKA (1989).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 EFEITO DA CALAGEM NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Na tabela 03 estão apresentados os resultados de atributos químicos do solo, em diferentes profundidades, após 22 meses da aplicação do calcário superficial. A aplicação de doses de calcário na superfície proporcionou aumento no pH em CaCl_2 0,01 mol L^{-1} e na saturação por bases e redução nos teores de $\text{H}^+ + \text{Al}$ do solo, apenas na profundidade de 0-10 cm. A ausência de efeito da calagem sobre a acidez nas camadas de 10-20 e 20-40 cm deve ter ocorrido em função da baixa solubilidade do calcário e da mobilidade limitada dos seus produtos de sua reação no solo.

TABELA 03 – ALTERAÇÕES QUÍMICAS DO SOLO EM DIFERENTES PROFUNDIDADES, EM FUNÇÃO DE DOSES DE CALCÁRIO NA SUPERFÍCIE EM SISTEMA PLANTIO DIRETO, 22 MESES APÓS A APLICAÇÃO

Calcário t ha ⁻¹	pH em CaCl_2	H + Al	Al	Ca	Mg	K	P _(Mehlich-1) mg dm ⁻³	C g dm ⁻³	V %
0-10 cm									
0	4,6	105	8	35	26	10,8	17,0	24	41
1	4,7	99	5	38	29	9,5	17,0	25	43
2	4,8	92	4	40	29	9,8	15,2	24	47
3	4,8	92	4	42	29	9,8	13,8	24	48
Efeito	L*	L**	L**	L*	L**	ns	ns	ns	L**
C.V. (%)	1,8	6,4	34,57	8,6	5,02	6,76	31,99	6,93	6,13
10-20 cm									
0	4,5	111	10	31	27	8,2	7,5	23	37
1	4,6	106	8	31	28	7,8	8,2	23	37
2	4,6	107	9	29	27	7,1	7,0	23	38
3	4,6	107	9	31	24	7,3	7,7	23	37
Efeito	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	2,64	7,93	35,28	12,54	14,15	17,56	13,99	6,10	11,64
20-40 cm									
0	4,5	107	9	32	23	9,2	9,7	23	38
1	4,6	101	6	34	27	9,5	9,5	24	40
2	4,6	103	8	38	28	8,5	9,7	23	39
3	4,7	102	5	39	27	9,2	10,5	23	40
Efeito	ns	ns	L*	L*	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	2,35	6,06	22,10	12,13	15,18	13,58	33,46	5,02	7,91

L = efeito linear por regressão polinomial; ns = não significativo; * = significativo a 5%, ** = significativo 1%

PÖTTKER e BEN (1998), trabalhando com calagem em dois latossolos ácidos do Rio Grande do Sul, também verificaram, após 3 anos, reação do calcário aplicado na superfície somente nas camadas superficiais do solo. Em outros trabalhos realizados em sistema plantio direto, no entanto, observou-se efeito da calagem superficial na redução da acidez não só de camadas superficiais, mas também do subsolo (OLIVEIRA e PAVAN, 1996; CAIRES et al., 1999). No trabalho de OLIVEIRA e PAVAN (1996), foi observada redução da acidez do solo até 40 cm de profundidade, após 32 meses da aplicação do calcário na superfície. CAIRES et al. (1999), trabalhando em um Latossolo Vermelho distrófico textura média, verificaram aumento do pH nas camadas mais profundas do solo (40-60 e 60-80 cm) com a calagem na superfície, após 18 meses.

PANDOLFO e VEIGA (2000) trabalhando com aplicação de calcário na superfície em um Nitossolo, observaram relativa rapidez na modificação dos atributos químicos estudados em profundidade. As explicações estariam relacionadas com o transporte vertical de ânions alcalinos através de fluxo de massa, com a liberação dos íons OH^- pelas raízes em resposta à maior absorção de ânions em relação aos cátions, e com a movimentação do calcário através de canais formados por raízes mortas e pela fauna do solo (PAVAN; OLIVEIRA, 1997).

No presente trabalho, é possível que a dose máxima de calcário utilizada (3 t ha^{-1}) ou o tempo de reação do calcário no solo (22 meses) não tenham sido suficientes para a correção da acidez em camadas mais profundas. Apesar da alta dose de uréia utilizada (200 kg ha^{-1}), a elevada CTC do solo, em decorrência da textura muito argilosa e do alto teor de matéria orgânica, fez com que houvesse uma alta resistência do solo à variação no valor pH.

A calagem causou redução nos teores de Al trocável e aumento do Ca trocável, nas profundidades de 0-10 e 20 a 40 cm (Tabela 03). Resultados semelhantes foram obtidos por CAIRES et al. (1999). A redução dos teores de Al^{3+} e aumento do Ca trocável em profundidade, pela calagem realizada na superfície, podem estar

relacionados com o mecanismo de lixiviação de cálcio proposto por MIYAZAWA et al. (1996), mediante formação de complexos orgânicos hidrossolúveis presentes nos restos das plantas. Os nitratos podem agir como carregadores de Ca e Mg através da formação de ligantes ou pares iônicos que facilitam sua distribuição no perfil do solo (GROVE; BLEVINS, 1988; MIYAZAWA et al., 1992; PAVAN, 1997; AMARAL et al., 1998; RHEINHEIMER et al., 2000). Na camada superficial do solo, os ligantes orgânicos complexam o cálcio trocável, formando complexos CaL^0 ou CaL^- . A alteração da carga do Ca^{+2} facilita a sua mobilidade no solo. Em profundidade, o cálcio dos complexos Ca-orgânicos é deslocado pelo Al trocável do solo, porque os íons Al^{+3} formam complexos mais estáveis do que Ca^{+2} , diminuindo a acidez trocável e aumentando o Ca trocável. Reações semelhantes também podem ocorrer para o Mg, embora no presente trabalho as doses de calcário tenham aumentado o Mg trocável apenas na camada de solo de 0-10 cm. A movimentação do Ca trocável para camadas mais profundas do solo, com a calagem na superfície, também pode ter sido provocada por reações dependentes de nitrificação, mediante lixiviação de nitratos de Ca (CAIRES et al., 1999).

Os teores de K trocável, P disponível (Mehlich-1) e C-orgânico não foram influenciados significativamente pelas doses de calcário, nas diferentes profundidades do solo (Tabela 03).

BLEVINS et al. (1983) e IKE (1986), estudando a distribuição do K em solo submetido a diferentes sistemas de preparo, observaram maior concentração do nutriente na profundidade de 0-5 cm em plantio direto, o que não foi observado neste trabalho, certamente em decorrência dos elevados teores de K trocável no solo.

Os teores de P, apesar de não terem sido alterados significativamente pela calagem, foram mais altos na camada superficial do solo (0-10 cm). No sistema plantio direto, a maior concentração de P na camada superficial (MUZILLI, 1983, 1985c; SIDIRAS e PAVAN, 1985; SÁ, 1993) está relacionada ao menor contato entre o fertilizante fosfatado e as partículas do solo e à ausência de revolvimento.

CROZIER et al. (1999) observaram que em áreas com mais de 6 anos manejadas no sistema plantio direto havia maior homogeneidade dos nutrientes no perfil do solo, não havendo diferenças entre camadas de 0-10 e 10-20 cm quanto aos valores de pH e aos teores de Ca. MOREIRA et al. (2001) também verificaram que com o aumento do tempo de cultivo sob sistema plantio direto, a distribuição de Ca, Mg e Al e os valores de pH e de saturação por bases no perfil do solo tornaram-se mais homogêneos.

Na Tabela 04 estão apresentados os efeitos de doses de calcário na superfície, após 22 meses, sobre os teores de micronutrientes catiônicos no solo. Os teores de Cu, Fe, Mn e Zn não foram alterados significativamente com a calagem, em nenhuma das profundidades estudadas.

TABELA 04 – TEORES DE MICRONUTRIENTES CATIÔNICOS NO SOLO, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES, EM FUNÇÃO DE DOSES DE CALCÁRIO NA SUPERFÍCIE EM SISTEMA PLANTIO DIRETO, 22 MESES APÓS A APLICAÇÃO

Calcário t ha ⁻¹	Cobre ⁽¹⁾	Ferro ⁽¹⁾	Manganês ⁽¹⁾	Zinco ⁽¹⁾
mg dm ⁻³				
0-10 cm				
0	1,32	11,52	4,47	0,72
1	1,45	9,20	4,65	2,20
2	1,45	8,95	4,82	1,67
3	1,40	9,42	4,27	1,52
Efeito	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	7,52	14,91	16,83	59,04
10-20 cm				
0	1,40	10,50	3,50	0,87
1	1,52	9,60	3,55	2,47
2	1,55	10,25	3,70	1,15
3	1,50	10,10	3,30	1,62
Efeito	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	7,25	11,17	11,81	59,30
20-40 cm				
0	1,50	10,15	5,00	0,87
1	1,35	8,70	4,77	1,37
2	1,47	9,52	4,97	0,97
3	1,37	9,10	5,45	0,87
Efeito	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	9,36	9,13	23,13	47,29

ns = não significativo

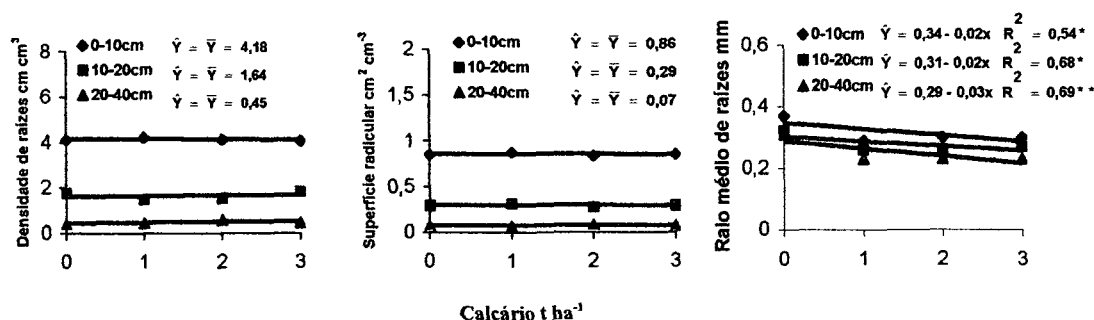
(1) Extração realizada com DTPA.

A correção da acidez do solo provoca uma maior atividade microbiana podendo levar à complexação dos íons metálicos Cu, Fe, Mn e Zn, tornando-os menos disponíveis (MELARATO, 2000). Neste trabalho não foi verificada diminuição dos teores de micronutrientes catiônicos, porque o pH (CaCl_2 0,01 mol L^{-1}) ficou em torno de 4,8 (Tabela 03). O aparecimento da deficiência de micronutrientes metálicos catiônicos é favorecido pelo pH, em água, acima de 6,0 (RITCHEY et al., 1981).

4.2 EFEITO DA CALAGEM NO CRESCIMENTO RADICULAR DO MILHO

Na figura 02 encontram-se os resultados de densidade, superfície e raio médio das raízes de milho, na linha de semeadura, considerando as doses de calcário na superfície. Não foram observados efeitos significativos da calagem na densidade e superfície radicular, mas o raio médio foi reduzido com aplicação de doses de calcário, de forma linear, nas três profundidades estudadas.

FIGURA 2 – DENSIDADE, SUPERFÍCIE E RAO MÉDIO DE RAÍZES DE MILHO, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES, NA LINHA DE SEMEADURA, EM FUNÇÃO DE DOSES DE CALCÁRIO NA SUPERFÍCIE EM SISTEMA PLANTIO DIRETO. *Significativo a 5%, ** Significativo a 1%



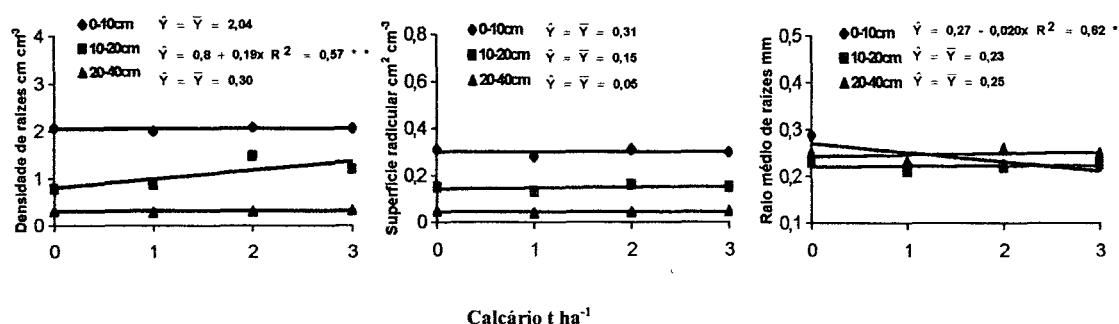
RITCHEY et al. (1980) verificaram que o cálcio tem papel preponderante no crescimento radicular. O crescimento de raízes de algodão foi inibido quando a saturação em Ca era menor que 17% (ADAMS e MOORE, 1983), e em amendoim (CAIRES e ROSOLEM, 1998) e soja (ROSOLEM et al., 1993) houve resposta em

crescimento de raízes mesmo quando o solo tinha 15 mmol dm^{-3} de Ca. Cabe ressaltar que, no presente trabalho, os teores de Ca trocável eram bem superiores a esse valor, não sendo limitantes para o crescimento de raízes (Tabela 3). Mesmo assim, os teores de Al trocável, na ausência de calagem, eram tóxicos.

CANAL e MIELNICZUK⁸ citado por VILELA e ANGHINONI (1984) verificaram engrossamento das raízes de soja tratadas com Al. ROSOLEM et al. (1994) verificaram que a calagem teve efeito positivo no crescimento radicular do milho, mas o raio médio das raízes não foi alterado com a aplicação de calcário, em solo sem problemas de toxidez de Al. No presente trabalho, o raio médio de raízes de milho, na linha de semeadura, foi maior (raízes mais grossas) em condições de maior acidez do solo, onde o Al estava presente em concentrações tóxicas.

Nas entrelinhas, a aplicação de doses de calcário proporcionou redução do raio médio, na camada superficial (0-10 cm), e aumento na densidade de raízes, na profundidade de 10-20 cm (Figura 03). Mesmo assim, a superfície radicular do milho, nas três profundidades estudadas, não foi influenciada pela calagem.

FIGURA 3 – DENSIDADE, SUPERFÍCIE E RAO MÉDIO DE RAÍZES DE MILHO, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES, NAS ENTRELINHAS DE SEMEADURA, EM FUNÇÃO DE DOSES DE CALCÁRIO NA SUPERFÍCIE EM SISTEMA PLANTIO DIRETO. * Significativo a 5%, ** Significativo a 1%



⁸ CANAL, I. N.; MIELNICZUK, J. Parâmetros de absorção de potássio em milho (*Zea mays* L) afetados pela interação alumínio-cálcio. **Ciências e Cultura**, São Paulo, v. 35, p. 336-340, 1983.

Tanto na linha de semeadura (Figura 02) como nas entrelinhas (Figura 03), os valores de superfície radicular e densidade de raízes diminuíram em função da profundidade. Isto deve ter ocorrido em função de menor quantidade de nutrientes, aeração e porosidade, de maior densidade do solo e ainda devido à própria característica genética da planta (KLEPKER; ANGHINONI, 1995; BARRETO, 1991). De acordo com DEXTER (1988), para muitos cereais, os valores de densidade radicular possuem valores máximos na superfície, em torno de 10 cm de raiz cm^{-3} de solo. Em camadas profundas de solo, tais valores podem ser somente de 1 cm cm^{-3} ou menos, o que está de acordo com os resultados obtidos no presente trabalho.

O comprimento de raízes por área, até a profundidade de 40 cm, não foi alterado significativamente com a aplicação de doses de calcário, conforme mostram os resultados apresentados na tabela 05.

TABELA 05 – EFEITO DA CALAGEM SUPERFICIAL NO COMPRIMENTO RADICULAR DO MILHO POR ÁREA, ATÉ 40 CM DE PROFUNDIDADE, NA LINHA DE SEMEADURA E NAS ENTRELINHAS, EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

CALCÁRIO	LINHA DE SEMEADURA	ENTRELINHA
t ha^{-1}	cm cm^{-2}	
0	65,60	31,85
1	72,72	32,67
2	66,00	44,42
3	63,87	38,70
Efeito	ns	ns
C.V. (%)	10,39	17,68

ns = não significativo

RUSSEL (1981) cita que nem sempre a raiz se comporta de maneira previsível frente aos diversos fatores, tanto em condições favoráveis, como em situações adversas. Nenhum dos fatores adversos do solo afeta todo o sistema de raízes na mesma intensidade. A deficiência de água é comumente mais severa próxima à superfície do solo, e assim também são os efeitos das mudanças bruscas de temperatura. A anaerobiose é mais provável ocorrer em camadas mais profundas, e

impedimentos mecânicos podem ser largamente confinados à estreitas zonas compactadas. Mesmo quando o suprimento de nutrientes é inadequado, eles podem ser relativamente abundantes em regiões localizadas. Um dado que chama atenção na Tabela 05, é o menor valor do comprimento radicular nas entrelinhas em relação à linha de semeadura.

A distribuição relativa de raízes, na linha de semeadura e nas entrelinhas, não foi influenciada pela calagem na superfície (Tabela 06). Na linha de semeadura, observou-se, em média, 62%, 24% e 14% do comprimento radicular, respectivamente nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm. Nas entrelinhas, para as mesmas profundidades, verificou-se 56%, 28% e 16% do comprimento de raízes, respectivamente. Esses resultados mostram que cerca de 85% do comprimento de raízes de milho, emitidas tanto na linha de semeadura como nas entrelinhas, concentrou-se na camada de solo de 0-20 cm.

TABELA 06 – DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DO COMPRIMENTO DE RAÍZES DE MILHO NA LINHA DE SEMEADURA E NAS ENTRELINHAS, EM FUNÇÃO DE DOSES DE CALCÁRIO NA SUPERFÍCIE, EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

Calcário t ha ⁻¹	Distribuição relativa do comprimento de raízes (%)					
	0-10cm		10-20cm		20-40cm	
	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha
0	63	58	26	25	11	17
1	68	57	20	26	12	17
2	60	53	23	32	17	15
3	58	56	28	27	14	17
Efeito	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	8,86	11,87	20,05	18,91	23,89	24,24

ns = não significativo

MERTEN e MIELNICZUK (1991) constataram que mais de 70% da massa seca total de raízes de aveia preta, milho, soja e trigo, independente do preparo utilizado, ficou concentrada na profundidade de 0-10 cm. SILVA et al. (2000) também verificaram maior densidade de raízes de milho, em um solo franco, na camada superficial (0-10cm), apresentando correlação positiva com o P disponível, Ca trocável, pH e porosidade total, e negativa com o Al trocável e densidade do solo.

MERTEN (1998) também observou que 78% da massa radicular do trigo e 84% da massa radicular da aveia situaram-se nos primeiros 10 cm de profundidade.

Na tabela 07, comparam-se a distribuição relativa do comprimento de raízes de milho, na linha de semeadura e nas entrelinhas, em função de doses de calcário. Nota-se que, na camada superficial do solo (0-10cm), em média, 67% do comprimento das raízes foi encontrado na linha de semeadura e 33% nas entrelinhas; na camada de 10-20 cm, houve cerca de 62% na linha e 38% nas entrelinhas, e na camada de 20-40 cm, aproximadamente 60% na linha e 40% nas entrelinhas. Neste caso, o fator determinante das raízes se concentrarem mais na linha de semeadura seria as melhores condições químicas do solo, ocasionadas, principalmente, pela adubação no sulco de semeadura. Esses resultados concordam com os obtidos por KLEPKER (1991), que encontrou 65% de raízes na superfície do solo e também alta densidade radicular próximo ao colmo da planta de milho.

TABELA 07 – COMPARAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DO COMPRIMENTO DE RAÍZES DE MILHO, NA LINHA E NAS ENTRELINHAS EM FUNÇÃO DE DOSES DE CALCÁRIO NA SUPERFÍCIE, EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

Calcário t ha ⁻¹	Distribuição relativa do comprimento de raízes (%)					
	0-10cm		10-20cm		20-40cm	
	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha
0	69	31	69	31	56	44
1	72	28	63	37	60	40
2	63	37	52	48	62	38
3	63	37	63	37	58	42
Efeito	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	8,65	17,42	11,81	18,96	11,69	16,96

ns = não significativo

A distribuição espacial de raízes, com as maiores concentrações próximas à planta e na superfície, ocorre devido à estrutura padrão do sistema radicular e às condições, geralmente, mais adequadas ao desenvolvimento radicular nas camadas superficiais do solo tais como, disponibilidade de nutrientes, aeração e atividade biológica (BARBER, 1978; RUSSEL, 1981; BARRETO, 1991).

Segundo BARRETO (1991), o número de raízes primárias, as quais se desenvolvem da germinação das sementes ou da base do caule, pode variar muito entre as espécies. Destas raízes, partem ramificações laterais que, funcionalmente, se assemelham às principais, mas diferem em dois importantes aspectos: são menores em diâmetro e em comprimento e, enquanto as raízes principais apresentam geotropismo positivo, as laterais, inicialmente, crescem horizontalmente ou através da superfície do solo, embora posteriormente também cresçam para baixo. Esta estrutura básica causa a grande concentração de raízes próximo à superfície do solo, em relação às profundidades maiores, mesmo quando os fatores do solo não restringem a sua extensão.

4.3 EFEITO DA CALAGEM NA NUTRIÇÃO MINERAL DO MILHO

Os teores de macronutrientes nas folhas do milho, em função da calagem, encontram-se na Tabela 08. Apenas os teores foliares de Mg e S foram aumentados com a aplicação de doses de calcário.

TABELA 08 – CONCENTRAÇÃO DE MACRONUTRIENTES NAS FOLHAS DE MILHO, EM FUNÇÃO DE DOSES DE CALCÁRIO NA SUPERFÍCIE, EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

Calcário	N	P	K	Ca	Mg	S
t ha ⁻¹				g kg ⁻¹		
0	29,7	2,9	22,2	2,4	2,0	1,8
1	26,7	3,0	21,0	2,4	2,1	2,0
2	30,1	3,1	21,4	2,4	2,1	2,2
3	29,3	3,0	17,3	2,4	2,2	2,2
Efeito	ns	ns	ns	ns	L*	L*
C.V. (%)	4,45	4,97	28,34	7,47	5,97	11,77

L= efeito linear por regressão polinomial; ns = não significativo; * = significativo a 5%.

Os teores de N nas folhas não variaram com a calagem, concordando com os resultados obtidos por CENTURION (1988) e por CAIRES et al. (1999). Os teores de P e K nas folhas não foram influenciados pela aplicação de doses de calcário, certamente devido à ausência de efeito de calagem sobre os teores desses nutrientes no

solo. No caso do Ca foliar, a ausência de efeito da calagem pode estar relacionada aos elevados teores de Ca trocável no solo, mesmo em condições de maior acidez.

A calagem aumentou a concentração foliar de Mg devido ao aumento significativo do teor de Mg trocável no solo, nos primeiros 10 cm (Tabela 03), com o uso de calcário dolomítico. O aumento dos teores de S nas folhas com a aplicação de calcário pode ser consequência da liberação de sulfato absorvido em decorrência de elevação do pH da camada superficial do solo (0-10 cm) (CAIRES et al., 1999) e, ou do aumento de taxa de mineralização do S orgânico, decorrente de ambiente mais favorável para a atividade microbiana (WILLIAMS⁹ citado por ASSMANN, 1995).

Os teores de Cu, Fe, Mn e Zn nas folhas de milho não foram influenciados significativamente pelas doses de calcário (Tabela 09). Ressalta-se que as alterações ocorridas no pH, em função das doses de calcário aplicadas, foram de pequena magnitude (Tabela 03).

TABELA 09 – CONCENTRAÇÃO DE MICRONUTRIENTES CATIÔNICOS NAS FOLHAS DE MILHO, EM FUNÇÃO DE APLICAÇÃO DE CALCÁRIO EM SUPERFÍCIE, EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

Calcário	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
t ha ⁻¹		mg kg ⁻¹		
0	12	130	62	22
1	13	112	57	21
2	14	122	59	24
3	14	120	59	21
Efeito	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	10,93	28,11	9,82	15,97

ns = não significativo

A extração de macro e micronutrientes pela parte aérea da cultura do milho, em função das doses de calcário aplicadas, é mostrada nas Figuras 04 e 05. Nota-se

⁹ WILLIAMS, C. H. Some factors affecting the mineralization of organic sulfur in soils. *Plant Soil*, The Hague, v. 26, p. 205-223, 1967.

que a aplicação de doses de calcário aumentou linearmente a absorção de P, Ca, Mg e S pelo milho (Figura 04).

A calagem aumentou a absorção de Ca e Mg, (Figura 04) devido ao aumento do Ca e Mg trocável no solo, com uso de calcário dolomítico. A correção da acidez do solo com calcário dolomítico, tem grande influência sobre a absorção de Ca e Mg em plantas de milho (BÜLL, 1993).

A absorção de P aumentou com a calagem, (Figura 04) apesar da análise de solo não ter revelado maior disponibilidade de P no solo (Tabela 03). Isso mostra que o extrator Melhich-1 não apresentou sensibilidade para detectar pequenas variações desse nutriente no solo, o que concorda com os resultados obtidos por QUAGGIO et al. (1982) e CAIRES e FONSECA (2000) com a cultura da soja. O mesmo não ocorre, normalmente, quando o P do solo é avaliado pelo método da resina trocadora de íons. Nesse caso, maior absorção de P, com a calagem, tem sido acompanhada de aumentos na disponibilidade desse nutriente no solo (RAIJ; QUAGGIO, 1990). Esse efeito deve ter sido ocasionado pela maior solubilização de P ligado a Fe e Al, com a elevação do pH, conforme citado por CAIRES e FONSECA (2000). ROSOLEM et al. (1994) também observaram aumento da absorção de fósforo por plantas de milho quando houve aumento de saturação por bases do solo com a calagem.

No caso do enxofre, o aumento de pH do solo pela calagem pode ter contribuído para o aumento da taxa de mineralização do S orgânico e diminuição da adsorção de sulfato no solo, resultando em aumento da absorção de enxofre pelas plantas de milho.

A absorção de micronutrientes catiônicos pelo milho não foi influenciada significativamente pela calagem na superfície (Figura 05). Deve-se destacar que os teores de Cu, Fe, Mn e Zn também não foram alterados no solo, certamente em decorrência da variação do pH ter ocorrido em pequena magnitude, em função das doses de calcário aplicadas.

FIGURA 04 – EXTRAÇÃO DE MACRONUTRIENTES PELA PARTE AÉREA DO MILHO, EM FUNÇÃO DA CALAGEM NA SUPERFÍCIE, EM SISTEMA PLANTIO DIRETO.
* Significativo 5%

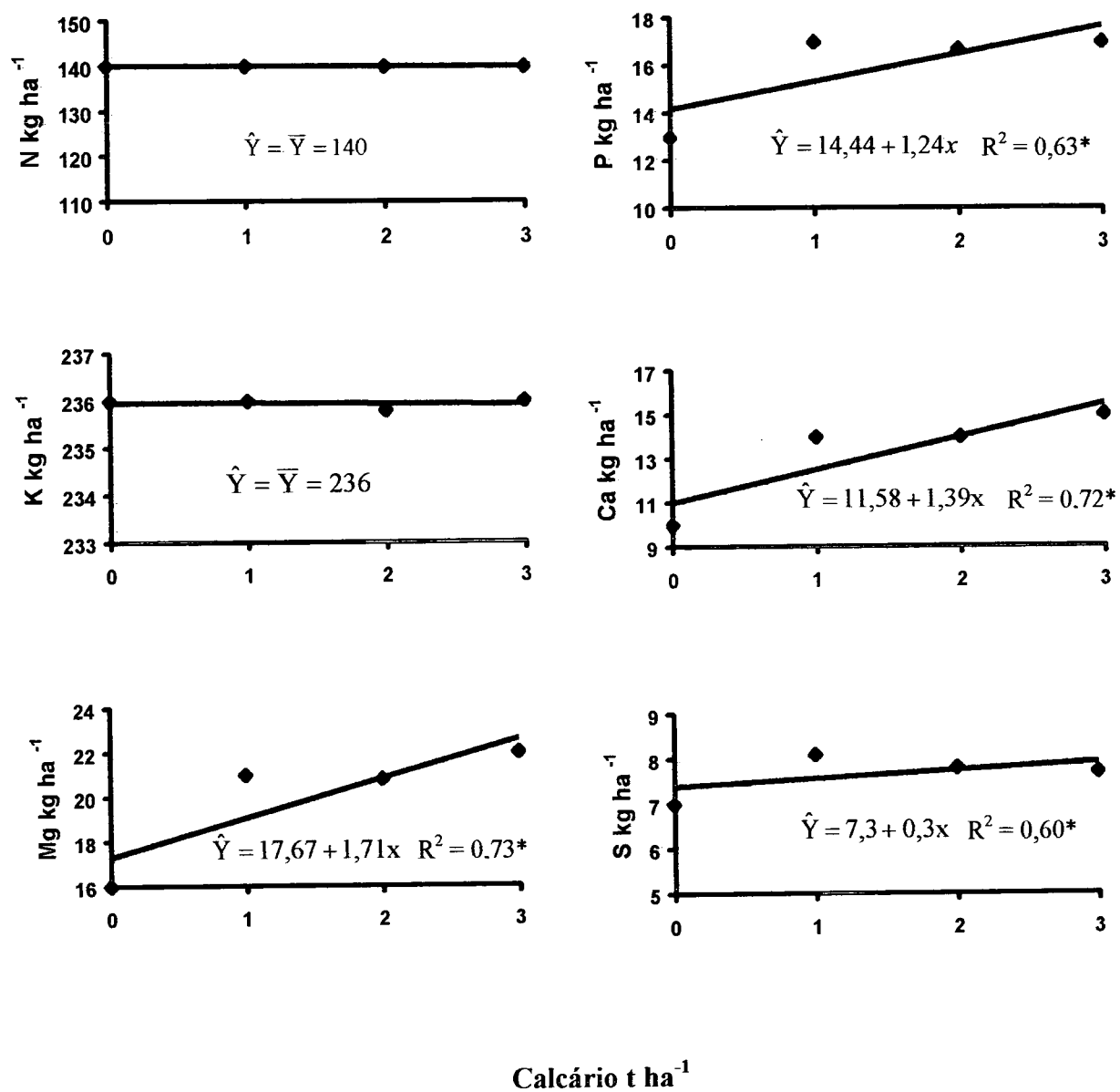
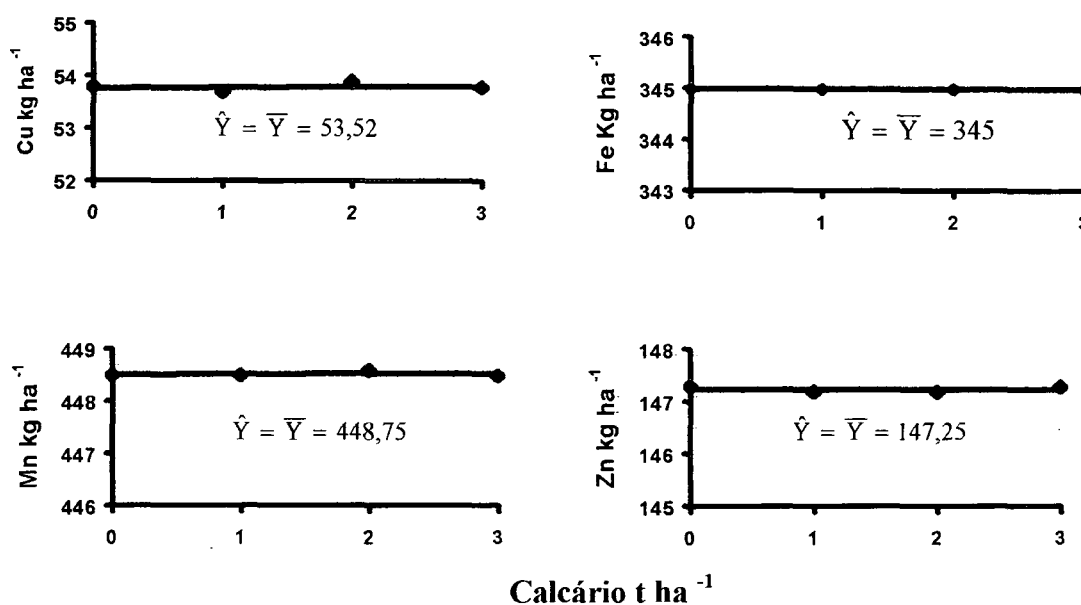


FIGURA 05 – EXTRAÇÃO DE MICRONUTRIENTES PELA PARTE AÉREA DO MILHO, EM FUNÇÃO DA CALAGEM SUPERFÍCIE, EM SISTEMA PLANTIO DIRETO.



4.4 EFEITO DA CALAGEM NA PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E NA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE MILHO

Na Tabela 10, pode-se observar que não houver diferenças significativas tanto na produção de matéria seca como na produtividade de grãos de milho, em função de doses de calcário na superfície. Ausência de resposta do milho à calagem superficial e altas produtividades da cultura têm sido observadas em solos ácidos manejados no sistema plantio direto (PÖTTKER; BEN, 1998; CAIRES et al., 1999; RHEINHEIMER et al., 2000).

As altas produtividades das culturas em solos ácidos manejados no sistema plantio direto podem estar relacionadas ao fato de os teores de Ca, Mg e K trocáveis estarem em níveis adequados no solo, apresentando uma relação adequada com o Al trocável (CAIRES et al., 1998). Outra explicação estaria relacionada com o menor efeito tóxico do Al, em decorrência de sua complexação orgânica por compostos hidrossolúveis presentes nos resíduos vegetais (MIYAZAWA et al., 2000).

É importante destacar que a calagem na superfície, em sistema plantio direto, proporciona pequenas alterações anuais na produtividade das culturas, mas ao longo de vários anos, o efeito de calagem sobre a produção acumulada de grãos é significativa (CAIRES et al., 2000).

TABELA 10 – PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E DE GRÃOS DE MILHO, EM FUNÇÃO DE DOSES DE CALCÁRIO NA SUPERFÍCIE, EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

CALCÁRIO	MATÉRIA SECA	PRODUÇÃO DE GRÃOS
t ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
0	6449	8383
1	8154	8800
2	8185	8695
3	8038	8459
Efeito	ns	ns
C.V. (%)	14,24	6,43

ns = não significativo

As condições de acidez do solo no presente estudo, não causaram limitações ao crescimento radicular e à produção de grãos de milho. É importante ressaltar, no entanto, que as altas produtividades de milho em solos com baixos valores de pH e presença de alumínio tóxico não são exclusividade do sistema plantio direto, como observado por ERNANI et al. (1998). As elevadas produtividades ocorrem nessas condições de acidez, devido à interação do Al com a matéria orgânica, aos altos teores de P no solo, o que aumenta a taxa de difusão do nutriente em direção às raízes, e aos altos teores de Ca e Mg trocáveis, que reduzem a saturação por Al e sua toxicidade ao sistema radicular (ERNANI et al., 1998).

5 CONCLUSÕES

A calagem na superfície, em sistema plantio direto, proporcionou correção da acidez, revelada pela elevação do pH, dos teores de Ca e Mg trocáveis e da saturação por bases, e pela redução dos teores de H + Al e de Al trocável, na camada superficial do solo (0-10 cm), e ocasionou aumento do Ca trocável e redução do Al trocável no subsolo (20-40 cm).

Considerando o crescimento radicular do milho até a profundidade de 40 cm, independentemente da calagem, cerca de 60% do comprimento relativo das raízes ficou concentrado na camada superficial do solo (0-10 cm) e 40% nas camadas mais profundas (10-40 cm). A maior concentração de raízes ocorreu na linha de semeadura em comparação com as entrelinhas, sendo, respectivamente, da ordem de 67 e 33%, na camada de 0-10 cm, e de 60 e 40%, na camada de 10-40 cm.

A correção da acidez do solo pela calagem na superfície, em sistema plantio direto, aumentou a extração de P, Ca, Mg e S pela parte aérea e não influenciou os teores no solo e a absorção de Cu, Fe, Mn e Zn pela cultura do milho.

A produção de matéria seca e de grãos de milho não foi influenciada pela calagem na superfície de solo ácido, com alto teor de matéria orgânica e teores suficientes de Ca, Mg, K e P, manejado no sistema plantio direto.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, F.; MOORE, B. L. Chemical factors affecting root growth in subsoil horizons of Coastal Plain Solis. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 47, p. 99-102, Jan./Feb. 1983.
- AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; KRAY, C. H. Alteração de atributos químicos das fases sólida e líquida do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. MANEJO SUSTENTÁVEL DO SOLO, 2., 1998, Santa Maria. **Resumos expandidos**. Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, 1998. p. 150-152.
- ASSMANN, T. S. **Influência da aplicação do calcário irati (São Mateus do Sul-Pr) nos teores de S, Cu, Fe, Mn e Zn no solo e na planta de milho (*Zea mays* L).** Curitiba-PR, 1995. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- BANZATO, D. A.; KRÖNKA, S. N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal-SP: FUNEP, 1989. 247 p.
- BARBER, S. A. Growth and nutrient uptake of soybean roots under field conditions. **Agronomy Journal**, Madison, v. 70, p. 457-461, 1978.
- BARBER, S. A.; CHEN, J. Using a mechanistic model to evaluate the effect of soil pH on phosphate uptake. **Plant and Soil**, Dordrecht, n. 81, p. 143-146, 1990.
- BARLEY, K. P. The configuration of the root system in relation to nutrient uptake. **Advances in Agronomy**, New York, n. 22, p. 159-201, 1970.
- BARRETO, A. C. **Efeito de sistemas de rotação, sucessão e níveis de calagem, sobre características físicas e químicas do solo e no desenvolvimento do sistema radicular e produção de grãos de milho (*Zea mays* L).** Piracicaba, 1991. 154 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiróz”.
- BAYER, C. **Características químicas do solo, nutrição e rendimento do milho afetados por métodos de preparo e sistemas de culturas**. Porto Alegre, 1992. 172 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. Porto Alegre, 1996. 240 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BECKER, M. **Efeito do potássio e da densidade do solo na morfologia das raízes de milho, suprimento e influxo de K, Ca e Mg.** Porto Alegre, 1984. 139 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BLEVINS, R. L.; MURDOCK, L. W.; THOMAS, G. W. Effect of lime applications on no-tillage and conventionally tilled corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 70, n. 2, p. 322-327, Mar./Apr. 1978.

BLEVINS, R. L.; THOMAS, G. W.; CORNELUIS, P. L. Influence of no-tillage and nitrogen fertilization on certain soil properties after 5 years of continuous corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 69, n. 2, p. 383-386, 1977.

BLEVINS, R. L. et al. Changes in soil properties after 10 years continuous non-tilled and conventionally tilled corn. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 3, n. 2, p. 135-146, 1983.

BLEVINS, R. L. et al. Influence of no tillage on soil moisture. **Agronomy Journal**, Madison, v. 63, n. 3, p. 593-596, July/Aug. 1971.

BOUNDER, J. W.; RANDALL, G. W.; SCHULER, R. T. Effects of tillage with controlled wheel traffic on soil properties and root growth of corn. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, n. 40, p. 382-385, 1985.

BROWN, D. A.; SCOTT, H. Dependence of crop growth and yield on root development and activity. In: BARBER, S. A.; BOULDIN, D. R. **Roots and water influx, and plant growth.** Madison: Soil Science Society of America, 1984. p. 101-136.

BÜLL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L. T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade do milho.** Piracicaba: POTAFOS, 1993. p. 63-121.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. **Bragantia**, Campinas, n. 59, v. 2, p. 213-2220, 2000.

CAIRES, E. F.; ROSOLEM, C. A. Correção da acidez do solo e desenvolvimento do sistema radicular do amendoim em função da calagem. **Bragantia**, Campinas, n. 57, p. 175-184, 1998.

CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 24, p. 161-169, 2000.

CAIRES, E. F. et al. Alterações nas características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 27-34, 1998.

CAIRES, E. F. et al. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 315-327, 1999.

CANAL, I. N. **Parâmetros da absorção de potássio e translocação de cálcio em milho (*Zea mays* L.), afetados pela interação alumínio-cálcio**. Porto Alegre, 1980. 85 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BÜLL, L. T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade do milho**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p. 63-131.

CARGNELUTTI, A. F.; REINERT, D. J.; BORGES, D. F. Recuperação da estabilidade estrutural induzida pelo plantio direto, de solo que recebeu preparo convencional por dois anos. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. **Trabalhos...** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 1 CD-ROM (Comissão 6, trabalho 81).

CASSIOLATO, M. E. et al. Dinâmica de íons no solo manejado com resíduos vegetais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS - FERTIBIO 98, 23., 1998, Caxambu. **Resumos**. Caxambu: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, UFPA, 1998. p. 358.

CASSOL, F. E.; ANGHINONI, I. Alterações nas características de um solo podzólico vermelho-escuro após quatro anos de cultivo nos sistemas de plantio direto e convencional. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa. **Resumos...** Viçosa: SBCS, 1995. p. 1843-1844.

CASTRO, O. M. Manejo e preparo do solo e erosão. In: _____. **Aspectos de manejo do solo**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. p. 43-70.

CASTRO, O. M. et al. Perdas por erosão de nutrientes vegetais na sucessão soja/trigo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 10, n. 3, p. 293-297, 1986.

CENTURION, J. F. **Efeito de sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas de um solo argiloso sob cerrado e na cultura do milho implantada**. Piracicaba, 1988. 125 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo.

CENTURION, J. F.; DEMATTÊ, J. L. I. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um solo de cerrado cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 9, p. 263-266, 1985.

CHAVES, J. C. D.; PAVAN, M. A.; IGUE, K. Resposta do cafeeiro à calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, n. 19, p. 573-582, 1984.

CHITOLINA, J. C. et al. Amostragem, acondicionamento e preparo de amostras de solo para análise de fertilidade. In: SILVA, F.C. (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. p. 11-48.

CLAASSEN, N.; BARBER, S. A. A method for characterizing the relation between nutrient concentration and flux into roots of intact plants. **Plant Physiology**, Bethesda, n. 54, p. 564-568, 1974.

CROZIER, C. R. et al. Nutrient and pH stratification with convencional and no-till maangement. **Communnications in Soil Science and Plant Analysis**, Monticarlo, n. 30, p. 65-74, 1999.

DEMATTE, J. L. I. Characteristics of Brazilian soils related to root growth. In: SYMPOSIUM ON THE SOIL/ROOT SYSTEM IN RELATION TO BRASILIAN AGRICULTURE, 1980, Londrina. **Proceedings...** Londrina: IAPAR, 1981. p. 103-114.

DERPSCH, R. Histórico, requisitos, importância e outras considerações sobre plantio direto no Brasil. In: TORRADO, P. V.; ALOISI, R. R. (Coord.) **Plantio direto no Brasil atualização em plantio direto**. Campinas: Fundação Cargill, 1984. p. 1-12.

DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, n. 11, p. 199-288, 1988.

DRISCOLL C. T.; SCHECHER, W. D. Aluminium in the environmental. In: SIEGEL, M. **Metal ions en biological systems: aluminium and its role in biology**. Basel: Marcel Dekker, 1988. p. 59-122.

ELTZ, F. L. P.; PEIXOTO, R. T. G.; JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um latossolo bruno álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 13, p. 259-267, 1989.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A. Comparação de métodos analíticos para avaliar a necessidade de calcário dos solos do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 10, p. 143-150, 1986.

ERNANI, P. R.; BARBER, S. A. Corn growth and changes of soil and root parameters as affected by phosphate fertilizers and liming. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, n. 26, p. 1309-1314, 1991.

ERNANI, P. R.; GIANELLO, C. Diminuição do alumínio trocável do solo pela incorporação de esterco de bovinos e camas de aviário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 7, n. 1, p. 161-165, 1982.

ERNANI, P. R. et al. Diminuição da toxicidade de alumínio para o milho pelo aumento do fósforo no solo. In: REUNIÃO SUL BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2., 1998, Santa Maria. **Resumos expandidos...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, 1998. p. 153-154.

FANTE JR, L. **Sistema radicular da aveia forrageira avaliado por diferentes métodos, incluindo processamento de imagens digitais.** ESALQ, 1997. 119 f. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) – Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiróz”.

FEBRAPDP – FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. **Boletim informativo**, n. 1, 2000.

FLEMING, A. L.; FOY, C. D. Root structure differential aluminum tolerance in wheat varieties. **Agronomy Journal**, Madison, n. 60, p. 172-176, 1968.

FOY, C. D. Effects of aluminum on plant growth. In: CARSON, E. W. **The plant root and its environment.** Charlottesville: University Press of Virginia, 1974. p. 601-642.

FRANCHINI, J. C. et al. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 24, p. 459-467, 2000.

FRANCHINI, J. C. et al. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 23, p. 533-542, 1999.

FUCKS, L. F. et al. Diminuição da estabilidade estrutural pela aração e gradagem de solo sob plantio direto por quatro anos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10., 1994, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SBCS, 1994. p. 196-197.

FURLANI, P. R. et al. Avaliação de linhagens, materiais comerciais e duas populações de milho para tolerância a alumínio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 6, p. 655-60, 1986.

FURLANI, R. R. Efeitos fisiológicos do alumínio em plantas. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 2., 1989, Piracicaba. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1989. p.73-90.

FURLANI, P. R.; DUARTE, A. P.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z. Tolerância ao Al em cultivares de milho. In: DUARTE, A. P. (Cord.). **Fatores bióticos e abióticos em cultivares de milho e estratificação ambiental: avaliação IAC/CATI/Empresas – 1999-2000.** Campinas, IAC, 2000, p. 19-29. (Série Pesquisa Apta. Boletim científico, n 5.).

GASSEN, D. N.; KOCHHANN, R. A. Benefícios de insetos de solo sob plantio direto. In: NUERNBERG, N. J. **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto.** Lages: SBCS–Núcleo Regional Sul, 1998. p. 151-160.

GONZALES-ERICO, E. et al. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on an Oxisol of Central Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, n. 43, p. 1155-1158, 1979.

GREGORY, P. J. Root growth and activity. In: **PHYSIOLOGY and determination of crop yield**. Madison: **American Society of Agronomy**, 1994. p. 65-93.

GROVE, J. H.; BLEVINS, R. L. Correcting soil acidification in continuous corn: N rate, tillage e time. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, Madison, v. 19, n. 7-12, p. 1331-1342, 1988.

HARGROVE, W. L. et al. Influence of tillage practices on the fertility states of an acid soil double-cropped to wheat and soy beans. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, n. 4, p. 648-647, July/Aug. 1982.

HUE, N. V.; GRADOCK, G. R.; ADAMS, F. Effect of organic acids on aluminum toxicity in subsoils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 50, n. 1, p. 28-35, Jan./Feb. 1985.

HUNGRIA, M. et al. **Importância do sistema de semeadura direta na população microbiana do solo**. Londrina: EMBRAPA-CNPB, 1997. (Comunicado técnico, n. 7)

IKE, I. F. Soil and crops repouse to different tillage practices in a ferruginous soil in the Nigeriam. **Savana Soil & Till Res**, Amsterdam, n. 6, p. 261-272, 1986.

JACKSON, W. A. Physiological effects of soil acidity. In: PEARSON, R. W.; ADAMS, F. **Soil acidity and liming**. Madison: American Society of Agronomy, 1967. p. 43-124.

KLEPKER, D. **Nutrientes e raízes no perfil e crescimento de milho e aveia em função do preparo do solo e modos de adubação**. Porto Alegre, 1991. 117 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 19, p. 395-401, 1995.

KOCHHANN, R. A.; SELLES, F. O solo e o sistema de manejo conservacionista. In: FERNANDES, J. M. et al. **Manual de manejo conservacionista do solo para os Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPB, 1991. p. 43-52. (Documentos, n. 1).

KÖEPKE, U. Methods for studying root growth. In: RUSSEL, R. S.; IGUE, K.; MEHTA, Y. R. **The soil/root system in relation to Brazilian agriculture**. Londrina: IAPAR, 1981. p. 303-318.

KRAY, C. H. et al. Modos de reaplicação de calcário e o seu efeito sobre o rendimento da cultura do milho. **REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, MANEJO SUSTENTÁVEL DO SOLO**, 2., 1998, Santa Maria - RS. **Resumos expandidos...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, 1998. p. 146-149.

LAL, R.; VANDOREN JR., D. M. Influence of 25 years of continuous corn production by three tillage methods on water infiltration for two soils in Ohio. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 16, n. 1, p. 71-84, 1990.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, New York, n. 1, p. 277-294, 1985.

LINDSAY, W. L.; NORVELL, W. A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 42, p. 421-428, 1978.

MAACK, R. **Classificação do clima do Estado do Paraná: geografia física do estado do Paraná**. 2. ed. Rio de Janeiro: Livraria J. Olímpio, 1968. p.175-189.

MACHADO, J. A.; BRUM, A. C. R. Efeito de sistemas de culturas em algumas propriedades físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 2, p. 81-84. 1978.

MACKAY, A. D. et al. Phosphorus and potassium uptake by corn in conservation tillage systems. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, n. 51, v. 4, p. 970-974, July/Aug. 1987.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 319 p.

MARSCHENER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd. ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MELARATO, M. Micronutrientes no sistema plantio direto. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1., 2000, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa: Associação dos Engenheiros Agrônomos dos Campos Gerais, 2000. p. 161-174.

MENGEL, D. B.; BARBER, S. A. Development and distribution of the corn root system under field conditions. **Agronomy Journal**, Madison, n. 66, p. 341-344, 1974.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, 1987. 687 p.

MERTEN, G. H. **Rendimento de grãos e distribuição do sistema radicular das culturas sob diferentes sistemas de manejo em um oxissolo (Latossolo Roxo Distrófico)**. Porto Alegre, 1998. 178 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MERTEN, G. H.; MIELNICZUK, J. Distribuição do sistema radicular e dos nutrientes em latossolo roxo sob dois sistemas de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 15, p. 369-374, 1991.

MIYAZAWA, M.; CHIERICE, G. O.; PAVAN, M. A. Amenização da toxidade de alumínio às raízes do trigo pela complexação com ácidos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 16, n. 2, p. 209-215, 1992.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 17, p. 411-416, 1993.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Resíduos vegetais: influência na química de solos ácidos. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1., Ponta Grossa, 2000. **Anais...** Ponta Grossa: Associação dos Engenheiros Agrônomos dos Campos Gerais, 2000. p. 82-94.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; SANTOS, J. C. F. Effects of addition of crop residues on the leaching of Ca and Mg in Oxisols. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 4., Belo Horizonte, 1996. **Resumos...** Belo Horizonte: SBCS/EMBRAPA-CPAC, 1996. p. 8.

MOREIRA, S. G. et al. Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 25, p. 71-81, 2001.

MOSCHLER, W. W. et al. Comparative lime effects on continuous no-tillage and conventionally tilled corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 65, n. 5, p. 781-783, 1973.

MUTTI, L. S. M. **Métodos de preparo do solo e semeadura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em sucessão ao trigo (*Triticum aestivum* L.): influência sobre propriedades físicas do solo.** Santa Maria, 1976. 71 f. Tese (Livre Docência) - Universidade Federal de Santa Maria-RS.

MUZILLI, O. A Fertilidade do solo no sistema plantio direto: bases para o manejo sustentável. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1., Ponta Grossa, 2000. **Anais...** Ponta Grossa: Associação dos Engenheiros Agrônomos dos Campos Gerais, 2000. p. 1-16.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 7, n. 1, p. 95-102, 1983.

MUZILLI, O. Princípios e perspectivas de expansão. In: _____. **Plantio direto no Paraná.** Londrina: IAPAR, 1981. p. 11-17. (Circular técnica, n. 23).

MUZILLI, O. O plantio direto no Brasil. In: FANCELLI, L. A.; TORRADO, P. V.; MACHADO, J. **Atualização em plantio direto.** Campinas: Fundação Cargill, 1985a. p. 3-16.

MUZILLI, O. Plantio direto: viabilidade e perspectivas. In: _____. **Aspectos de manejo do solo**. Campinas: Fundação Cargill, 1985b. p. 87-97.

MUZILLI, O. A fertilidade do solo em plantio direto. In: FANCELLI, L. A.; TORRADO, P. V.; MACHADO, J. **Atualização em plantio direto**. Campinas: Fundação Cargill, 1985c. p. 147-159.

OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, n. 38, p. 47-57, 1996.

PAIVA, P. J. R. **Parâmetros da fertilidade de um solo do Paraná sob diferentes sistemas de manejo**. Lavras, 1990. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras.

PAIVA, P. J. R. et al. Acidificação de um latossolo roxo do estado do Paraná sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 20, p. 20-71, 1996.

PANDOLFO, C. M.; VEIGA, M. Alterações de pH em água, alumínio e cálcio mais magnésio trocável em profundidade pela aplicação de calcário na superfície de uma terra bruna roxa estruturada. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS - FERTIBIO2000, 24., 2000, Santa Maria. **Resumos**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2000. 1 CD-ROM.

PAVAN, M. A. Ciclagem de nutrientes e mobilidade de ions no solo sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 41, p. 8-12, 1997.

PAVAN, M. A. Movimentação do Calcário no solo através de técnicas de manejo da cobertura vegetal em pomares de macieira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, n. 16, p. 86-91, 1994.

PAVAN, M. A.; OLIVEIRA, E. L. **Manejo da acidez do solo**. Londrina: IAPAR, 1997. (Circular, n. 95).

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminum following lime and gypsum applications to a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of American Journal**, n. 48, p. 33-38, 1984.

PAVAN, M. A. et al. **Manual de análise química de solo e controle da qualidade**. Londrina: IAPAR, 1992. (Circular, n. 76).

PEARSON, R. W. **Soil acidity and liming in the humid tropics**. Cornell: International Agriculture, 1975. (Bulletin, n. 300).

PEIXOTO, R. T. G.; ELTZ, F. L. F. Avaliação da fertilidade do solo em plantio direto na região dos Campos Gerais, Paraná. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 17., 1986, Londrina. **Resumo...** Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1986. p. 56-57.

PERKIN ELMER. **Analytical methods for atomic absorption spectrophotometry.** Norwalk, 1976. (Agriculture: AY).

PINTO, M. B. A. **Efeito residual da calagem, adubação fosfatada corretiva e gesso agrícola na dinâmica de bases e características químicas do solo e subsolo.** Lavras, 1989. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – UFLA, Universidade Federal de Lavras.

PISSAIA, A. **Eficiência de três formas de fertilização do solo, a campo e rizotron, sobre cultura do milho.** Curitiba, 1997. 138 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

PÖTTKER, D. Recentes avanços no manejo químico do solo para a cultura do milho. In: SANDINI, I. E.; FANCELLI, A. L. **Milho: estratégias de manejo para a região sul.** Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2000. p. 63-88.

PÖTTKER, D.; BEN, J. R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 22, p. 675-684, 1998.

QUAGGIO, J. A. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de ions no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 3, p. 375-383, 1993.

QUAGGIO, J. A.; MASCARENHAS, H. A. A.; BATAGLIA, O C. Resposta da soja à aplicação de doses crescentes de calcário em latossolo roxo distrófico de cerrado, II – efeito residual. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 6, p. 113-118, 1982.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. Extractable phosphorus availability indexus as affected by liming. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Monticello, v. 21, p. 1267-1276, 1990.

RAIJ, B. van; ROSAND, P. C.; LOBATO, E. Adubação fosfatada no Brasil: apreciação geral, conclusões e recomendações. In: OLIVEIRA, A. J. de. **Adubação fosfatada no Brasil**. Brasília: DID, 1982. p. 928. (EMBRAPA Documentos, n. 21).

RAIJ, B. van. et al. **Análise química do solo para fins de fertilidade.** Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170 p.

REICHARDT, K. Soil physico-chemical conditions and the development of roots. In: SYMPOSIUM ON THE SOIL/ROOT SYSTEM IN RELATION TO BRASILIAN AGRICULTURE, Londrina, 1980. **Proceedings...** Londrina: IAPAR, 1981. p. 103-114.

RHEINHEIMER, D. S. **Dinâmica do fósforo em sistemas de manejo de solos.** Porto Alegre, 2000. 211 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

RHEINHEIMER, D. S. et al. Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 2, p. 263-268, 2000.

RHEINHEIMER, D. S. et al. Influência do estresse do alumínio em plantas de fumo. I. Efeitos no sistema radicular, na absorção de fósforo e cálcio e no acúmulo de massa seca. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 18, p. 63-68, 1994.

RIESEMBERG, A. L. C. **Avaliação do ambiente radicular de um latossolo vermelho escuro (textura argilosa) após três anos sob plantio direto**. Curitiba, 1994. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

RITCHEY, K. D. et al. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, n. 72, p. 40-44, 1980.

RITCHEY, Y. D.; URBEN FILHO, G.; SPEHAR, C. R. Deficiência de manganês induzida por doses excessivas de calcário em um Latossolo Vermelho-Escuro, anteriormente sob vegetação de cerrado. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DA SOJA, 2., 1981, Brasília. **Anais...** Brasília: EMBRAPA-CNPSo, 1981. p. 541-544.

ROSOLEM, C. A.; BICUDO, S. J.; MARUBAYASHI, O. Soybean yield and root growth as affected by lime rate and quality. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 3., Brisbane, 1993. **Program and Abstracts**. Brisbane, 1993. p. 141.

ROSOLEM, C. A. et al. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 18, p. 491-497, 1994.

RUSSEL, R. S. **Plant root systems: their function and interaction with soil**. New York: MacGraw Hill, 1977. 297 p.

RUSSELL, R. S. Plant root systems – their function and interaction with the soil. In: SYMPOSIUM ON THE SOIL/ROOT SYSTEM IN RELATION TO BRASILIAN AGRICULTURE, 1980, Londrina. **Proceedings...** Londrina: IAPAR, 1981. p. 3-19.

SÁ, J. C. M. **Manejo da fertilidade do solo no plantio direto**. Castro: Fundação ABC, 1993. 96 p.

SÁ, J. C. M. Plantio direto: transformações e benefícios ao agroecossistema. In: **CURSO sobre o manejo do solo no sistema de plantio direto**. Castro: Fundação ABC, 1995. p. 1-13.

SÁ, J. C. M.; PETRERE, C. Desenvolvimento radicular da cultura do milho em solos sob plantio direto na região dos campos gerais e do planalto gaúcho. In: **CURSO sobre manejo do solo no sistema plantio direto**. Castro: Fundação ABC, 1995.

SALET, R. L. **Dinâmica de íons na solução de um solo submetido ao sistema plantio direto**. 1994. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SALET, R. L. **Toxidez de alumínio no sistema plantio direto**. Porto Alegre, 1998. 109 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SANTOS, H. P.; LHAMBY, J. C. B. Rotação de culturas em Guarapuava. XII. Efeitos de algumas culturas de inverno e de verão na evolução dos níveis de nutrientes e de matéria orgânica do solo, em plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., 1992, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBCS, 1992. p. 114-115.

SANTOS, H. P.; SIQUEIRA, A. J. F. Rotação de culturas em Guarapuava. XI. Efeito de algumas culturas de inverno e de verão em algumas propriedades químicas do solo num período de cinco anos de plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., 1992, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBCS, 1992. p. 112-113.

SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. **Análise química de plantas**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1974. 56p.

SEGUY, L. et al. **Técnicas de preparo do solo; efeitos na fertilidade e na conservação do solo, nas ervas daninhas e na conservação da água**. Goiânia: EMBRAPA, CNPAF, 1984. 26 p. (Circular Técnica 17).

SHEAR, G. M.; MOSCHLER, W. W. Continuous corn by the no-tillage and continuous tillage methods: a six-year comparison. **Agronomy Journal**, Madison, v. 58, n. 1, p. 147-148, 1969.

SHENK, M. K.; BARBER, S. A. Root characteristics of corn genotypes as related to P uptake. **Agronomy Journal**, Madison, n.71, p. 921-924, 1979.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 9, n. 3, p. 249-254, 1985.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 21, p. 113-117, 1997.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 24, p. 191-199, 2000.

SIQUEIRA, N. S. et al. Influência de sistemas de preparo do solo no desenvolvimento radicular do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997. 1 CD-ROM

SOUZA, D. M. G.; RITCHEY, K. D. Correção de acidez subsuperficial: uso de gesso no solo de cerrado. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 1., 1986, Piracicaba. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, p. 91-113.

SUMNER, M. E.; BOSWELL, F. C. Alleviating nutrient stress. In: ARKIN, G.F.; TAYLOR, H. M. **Modifying the root environment to reduce crop stress**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1981. p. 99-137.

TAYLOR, H. M.; ARKIN, G. F. Root zone modification fundamental and alternatives. In: TAYLOR, H. M.; ARKIN, G. F. **Modifying the root environment to reduce crop stress**. St. Joseph: ASAE, 1981. p. 3-16.

TENNANT, D. A test of modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 63, p. 995-1001, 1975.

TRIPLETT JR., G. B.; VAN DOREN, JR., D. M. Nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization of non-tilled maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 61, n. 4, p. 637-639, 1969.

VIEIRA, M. J.; COGO, N.P.; CASSOL, E. A. Perdas por erosão, em diferentes sistemas de preparo do solo, para a cultura da soja (*Glycine max* (L) merr.) em condições de chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 2, n. 3, p. 209-214, 1978.

VILELA, L.; ANGHINONI, I. Morfologia do sistema radicular e cinética da absorção de fósforo em cultivares de soja afetados pela interação alumínio-fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 8, p. 91-96, 1984.

WEIRICH NETO, P. H. W. et al. Correção da acidez do solo em função de modos de incorporação de calcário. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 2, p. 257-261, 2000.

WIETHÖLTER, S. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: experiência nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS – FERTIBIO-2000, 24., 2000, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2000.

WIETHÖLTER, S. et al. Fósforo e potássio no solo no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N. J. **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages:

ANEXOS

ANEXO 1 – FASE DE DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO DO MILHO (INFLORESCÊNCIA FEMININA EXPOSTA) NA QUAL FOI FEITA A COLETA DAS FOLHAS E PLANTAS PARA ANÁLISE QUÍMICA DE TECIDO VEGETAL	59
ANEXO 2 – TRADO CILÍNDRICO, COM 3,6 CM DE DIÂMETRO, UTILIZADO PARA COLETA DE AMOSTRAS DE RAÍZES.....	60
ANEXO 3 – LOCALIZAÇÃO DA AMOSTRAGEM DE RAÍZES DE MILHO NA LINHA DE SEMEADURA E NA ENTRELINHA	61
ANEXO 4 – PENEIRAS COM MALHA DE 2 E 0,5 mm UTILIZADAS PARA SEPARAÇÃO DAS RAÍZES DE MILHO	62
ANEXO 5 – VISUALIZAÇÃO DAS RAÍZES DE MILHO, APÓS A SUA SEPARAÇÃO DO SOLO EM PENEIRAS COM MALHA DE 2(A) E 0,5 (B) mm	63
ANEXO 6 – CONTAGEM DE RAÍZES DE MILHO PELO MÉTODO DE INTERSECÇÃO PROPOSTO POR TENNANT (1975) PARA DETERMINAÇÃO DO COMPRIMENTO RADICULAR.....	64

ANEXO 1 – FASE DE DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO DO MILHO
(INFLORESCÊNCIA FEMININA EXPOSTA) NA QUAL FOI
FEITA A COLETA DAS FOLHAS E PLANTAS PARA ANÁLISE
QUÍMICA DE TECIDO VEGETAL



ANEXO 2 – TRADO CILÍNDRICO, COM 3,6 CM DE DIÂMETRO, UTILIZADO
PARA COLETA DE AMOSTRAS DE RAÍZES



ANEXO 3 – LOCALIZAÇÃO DA AMOSTRAGEM DE RAÍZES DE MILHO NA
LINHA DE SEMEADURA E NA ENTRELINHA



ANEXO 4 – PENEIRAS COM MALHA DE 2 E 0,5 mm UTILIZADAS PARA
SEPARAÇÃO DAS RAÍZES DE MILHO



ANEXO 5 – VISUALIZAÇÃO DAS RAÍZES DE MILHO, APÓS A SUA SEPARAÇÃO
DO SOLO EM PENEIRAS COM MALHA DE 2(A) E 0,5 (B) mm

(A)



(B)



ANEXO 6 – CONTAGEM DE RAÍZES DE MILHO PELO MÉTODO DE
INTERSECÇÃO PROPOSTO POR TENNANT (1975) PARA
DETERMINAÇÃO DO COMPRIMENTO RADICULAR

